

从零开始学电子技术丛书

从零开始学

电子元器件 识别与检测技术

刘建清 主编
刘为国 王春生 张涛 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



责任编辑: 杨星豪
文字编辑: 金艳伟
责任校对: 钱辉玲
封面设计: 王晓军

xhyang@ndip.cn

xjwang@ndip.cn

从**零**开始学电子技术丛书

从零开始学电路仿真Multisim与电路设计Protel技术

从零开始学电气控制与PLC技术

从零开始学电子测量技术

从零开始学CPLD和Verilog HDL编程技术

从零开始学单片机C语言

从零开始学单片机技术

从零开始学电路基础

从零开始学电子元器件识别与检测技术

从零开始学电动机控制与维修技术

从零开始学模拟电子技术

从零开始学数字电子技术

◎ 上架建议: 电子技术 ◎

<http://www.ndip.cn>

ISBN 7-118-04765-1



9 787118 047653 >

ISBN 7-118-04765-1/TN · 761

定价: 32.00 元

2007

从零开始学电子技术丛书



从零开始学电子元器件 识别与检测技术

刘建清 主编

刘为国 王春生 张涛 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

学习电子技术离不开电子元器件的识别、检测与更换。本书就是为使初学者从零开始,快速掌握电子元器件的识别与检测技术而编写的。本书对各种常用电子元器件的外形结构、作用性能、识别及检测技术进行了系统的分析和介绍,内容新颖、资料翔实、通俗易懂,具有较强的针对性和实用性。

本书可供电子工业领域中的技工、工矿企业的技术人员、电气工人、农村电工、家电维修人员以及无线电爱好者阅读,也可作为中专、中技的教材或教学参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

从零开始学电子元器件识别与检测技术/刘建清主编;
刘为国,王春生,张涛编著. —北京:国防工业出版社,
2007.1

(从零开始学电子技术丛书)

ISBN 7-118-04765-1

I. 从... II. ①刘...②刘...③王...④张...
III. ①电子元件—识别②电子元件—检测 IV. TN60
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 109328 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)
北京奥鑫印刷厂印刷
新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 1/4 字数 470 千字
2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

丛书前言

我们所处的时代是一个知识爆炸的新时代。新产品、新技术层出不穷,电子技术的发展更是日新月异。可以毫不夸张地说,电子技术的应用无处不在,电子技术正在不断地改变着我们的生活,改变着我们的世界。

读者朋友:当你面对妙趣横生的电子世界发生兴趣时;当你彷徨于就业的关口,想成为电子产业中的一名员工时;当你跃跃欲试,想成为一名工厂的技术革新能手时;当你面对“无所不能”的“单片机”,梦想成为一名自动化高手时;当你的头脑里冒出那么多的奇思妙想,急于把它们应用于或转化为产品时……都是那么急切地想补充自己有关电子技术方面的知识,这时,你首先想到的是找一套适合自己学习的电子技术图书阅读。《从零开始学电子技术丛书》正是为了满足广大读者特别是电子爱好者的实际需要和零起点入门的阅读要求而编著的。

和其他电子技术类图书相比,本丛书具有以下特点:

内容全面,体系完备。本丛书给出了广大电子爱好者学习电子技术的全方位解决方案,既有初学者必须掌握的电路基础、模拟电路和数字电路等基础理论,又有电子元器件检测、电子测量仪器的使用、电路仿真与设计等操作性较强的内容,还有电气控制与PLC、单片机、CPLD等综合应用方面的知识,因此,本丛书内容翔实,覆盖面广。

通俗易懂,重点突出。传统的电子技术图书和教材在介绍电路基础和模拟电子技术等内容时,大都借助高等数学这一工具进行分析,这就给电子爱好者自学电子技术设置了一道门槛,使大多数电子爱好者失去了学习的热情和兴趣。本丛书在编写时,完全考虑到了初学者的需要,不涉及高等数学方面的公式,尽可能地把复杂的理论通俗化和实用化,将烦琐的公式简易化,再辅以简明的分析及典型的实例,从而形成了本丛书通俗易懂的特点。为了满足不同层次读者的需求,本丛书对难点和扩展知识用“*”进行了标注,初学者可跳过此内容。

实例典型,实践性强。本丛书最大程度地强调了实践性,书中给出的例子大都经过了验证,可以实现,并且具有代表性;本丛书中大多数书都配有光盘,光盘中收录了书中的实例、常用软件、实验程序和大量珍贵资料,以方便读者学习和使用。

内容新颖,风格活泼。本丛书所介绍的都是电子爱好者最为关心并且在业界获得普遍认同的内容,本丛书的每一分册都各有侧重,又互相补充,论述时疏密结合,重点突出。对于重点、难点和容易混淆的知识,书中还特别进行了标注和提示。

把握新知,结合实际。电子技术发展日新月异,为适应时代的发展,本丛书还对电子技术的新知识做了详细的介绍;本丛书中涉及的应用实例都是编著者开发经验的提炼和总结,相信一定会给读者带来很大的帮助。在讲述电路基础、模拟和数字电子技术时,还

专门安排了计算机辅助软件的仿真实验,实验过程非常接近实际操作的效果,使电子技术的学习变得更为直观,使学习变得更加生动有趣,这可以加深读者对电路理论知识的认识。

总之,对于需要学习电子技术的电子爱好者而言,选择《从零开始学电子技术丛书》不失为一个好的选择。本丛书一定能给你耳目一新的感觉,当你认真阅读之后将会发现,无论是你所读的书,还是读完书的你,都有所不同。

感谢本丛书的策划者——电子科普领域中的知名专家、中国电子学会高级会员刘午平先生,他与我们共同交流,共同探讨,达成了共识,确立了写作方向,并为本丛书的编排、修改和出版做了大量卓有成效的工作,他以丰富的专业知识和认真、敬业的态度为我们所敬佩;感谢山东持恒开关厂总经理陈培军先生和山东金曼克电气集团设计处总工程师高广海先生,他们对本丛书的编写提出了很多建设性的意见和建议,为本丛书的许多实验提供了强有力的支持与帮助,并参与了部分图书的编写工作;感谢网络,本丛书的许多新知识、新内容都是我们通过网络而获得的,我们在写作过程中遇到的许多疑难问题也大都通过网络得以顺利解决,对于这么多乐于助人、无私奉献的站主和作者们,无法在此一一列举,只能道一声“谢谢了!”感谢众多电子报刊、杂志的编辑和作者,他们为本丛书提供了许多有新意、有实用价值的参考文献,使得这套丛书能够别出心裁、与时俱进;感谢国防工业出版社,能与国内一流的出版社合作,我们感到万分的荣幸;感谢其他对本丛书的出版付出过辛勤工作的人士,没有他们的热心与支持,本丛书不知何时才能与读者见面!

最后,祝愿本丛书的每一位读者在学习电子技术的过程中,扬起风帆,乘风破浪!

丛书编者



前 言

电子元器件是组成电子电路的最小单位,也是修理中需要检测和更换的对象。本书对常用电子元器件的外形、性能、识别及检测技术进行了系统的分析,内容新颖、资料翔实、通俗易懂,具有较强的针对性和实用性。

按照结构清晰、层次分明的原则,本书可分为以下几部分:

第一部分为基本元器件篇。主要包括本书的第一章~第七章。重点介绍了电阻、电容、电感、变压器、二极管、三极管、场效应管、晶闸管的基本组成,识别方法和检测技巧。这些元器件是电路的基本组成元件,也是必须理解和掌握的内容。

第二部分为特殊元器件篇。主要包括本书的第八章~第十二章。重点介绍了电声器件、石英晶体、陶瓷器件、开关、插接件、继电器、传感器和显示器件的识别及检测,这些元器件虽不如基本元器件应用广泛,但在电路中具有特殊的作用,是分析和理解电路的基础。

第三部分为集成电路篇。主要包括本书的第十三章、第十四章。重点介绍了常用集成电路的分类、识别、检测和拆焊,并对应用十分广泛的集成稳压器进行了详细的分析。

第四部分为贴片元器件篇。主要包括本书的第十五章。贴片状元器件(SMD/SMC)是无引线或短引线的新型微小型元器件,它适合于在没有通孔的印制板上安装,是表面组装技术(SMT)的专用元器件。目前,片状元器件已在计算机、移动通信设备、医疗电子产品等高科技产品和摄像机、彩电高频头、VCD机等家用电器中得到广泛应用。本篇重点分析了常用片状元件的性能及识别技巧,可供维修和使用片状元件时参考。

本书具有较强的针对性和实用性,内容新颖、资料翔实、通俗易懂,同时,考虑到读者使用方便,对书中所给出的元器件均进行了认真的分类和总结。

由于时间仓促,书中错漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 电阻器与电位器的识别与检测	1
第一节 电阻器的识别及检测	1
一、电阻器的定义及分类	1
二、电阻器的字母代号及其意义	4
三、电阻器的基本参数	4
四、电阻器的识别	7
五、电阻器的串联与并联	9
六、电阻器的作用及选用	10
七、电阻器的检测	11
八、电阻器的修复与代换	11
第二节 电位器的识别及检测	12
一、电位器的分类及外形	12
二、电位器的参数	13
三、电位器的作用及选用	14
四、电位器的检测	15
五、电位器的修复	15
第三节 特殊电阻的识别及检测	16
一、熔断电阻器	16
二、熔断丝	17
三、热敏电阻	18
四、压敏电阻(VSR)	22
五、光敏电阻	23
六、排电阻	24
第二章 电容器的识别与检测	25
第一节 电容器的识别与检测	25
一、电容器的定义与分类	25
二、常见电容介绍	26
三、电容器的基本参数	29
四、电容器的型号与标志识别	31
五、电容器的串联与并联	33
六、电容器的作用与选用	36

七、电容器的检测与代换	37
第二节 可变电容器的识别与检测	39
一、可变电容器的种类及特点	39
二、可变电容器检测	41
第三节 电磁干扰滤波电容器使用方法	41
一、电容引线的作用	41
二、温度的影响	42
三、电压的影响	43
四、穿心电容的使用	43
第三章 电感器件的识别与检测	45
第一节 电感线圈的识别与检测	45
一、电感线圈的定义及分类	45
二、电感线圈的主要参数	47
三、电感线圈的标志识别	48
四、电感线圈的串联与并联	48
五、电感线圈的检测	49
六、铁氧体简介	49
第二节 变压器的识别与检测	50
一、变压器的定义及分类	50
二、变压器的主要作用	52
三、变压器的主要参数	53
四、电源变压器和隔离变压器	54
五、电源变压器的设计	56
六、电源变压器的检测	60
七、电源变压器的修理	63
第四章 晶体二极管的识别与检测	65
第一节 晶体二极管概述	65
一、二极管的结构	65
二、二极管的分类和命名	65
三、二极管的伏安特性	66
第二节 整流二极管、整流桥和高压硅堆的检测	67
一、整流二极管	67
二、整流桥组件	70
三、高压硅堆	74
第三节 快恢复/超快恢复、开关和肖特基二极管的检测	74
一、快恢复/超快恢复二极管	74
二、硅高速开关二极管	77

三、肖特基二极管	77
第四节 稳压二极管的检测	78
一、稳压管的特性	78
二、稳压管的选择及应用	79
三、稳压二极管的检测	80
四、常见稳压二极管介绍	82
第五节 变容二极管的检测	82
一、变容二极管的特性	82
二、变容二极管的检测	83
第六节 发光和红外接收二极管的检测	83
一、发光二极管	83
二、光敏二极管和红外接收二极管	89
第七节 其他二极管的检测	91
一、检波二极管	91
二、瞬态电压抑制二极管(TVS)	91
三、双向触发二极管	93
四、双基极二极管	95
五、精密二极管	96
第五章 晶体三极管的识别与检测	98
第一节 晶体三极管概述	98
一、三极管的分类	98
二、三极管的外形和结构	99
三、三极管的工作电压	99
四、三极管的电流分配关系	101
五、三极管的输入输出特性曲线	102
六、晶体三极管的主要技术参数	105
七、晶体三极管的代换原则	108
第二节 中小功率三极管的检测	109
一、中小功率三极管的性能	109
二、中小功率三极管的检测	110
第三节 大功率三极管的检测	112
一、大功率晶体三极管的特性	112
二、大功率晶体三极管的检测	112
三、常见大功率三极管介绍	113
第四节 对管的检测	116
第五节 达林顿管的检测	117
一、普通达林顿管	118

二、大功率达林顿管	118
第六节 带阻三极管的特性与检测	120
一、带阻三极管的特性	120
二、带阻三极管的检测	121
第七节 光敏三极管的检测	122
一、光敏三极管的特性和主要参数	122
二、光敏三极管的检测	123
第八节 晶体管阵列器件	124
第九节 三极管的特殊用途	125
一、扩流	125
二、代换	125
三、模拟	126
第六章 场效应管的识别及检测	127
第一节 结型场效应管的检测	127
一、结型场效应管的结构和原理	127
二、结型场效应管的特性曲线和参数	128
三、结型场效应管的检测	129
第二节 绝缘栅场效应管的检测	130
一、绝缘栅场效应管的结构和原理	130
二、绝缘栅场效应管的特性曲线和参数	132
三、绝缘栅场效应管的检测	134
四、绝缘栅场效应管使用注意事项	138
第三节 场效应管的应用	139
一、直流小信号调制电路	139
二、代替限流电阻	140
三、限流器	140
第七章 晶闸管(可控硅)的识别与检测	141
第一节 晶闸管概述	141
一、晶闸管的种类	141
二、晶闸管的外形和命名	141
三、晶闸管的主要参数	143
四、晶闸管的选用	144
第二节 单向晶闸管的识别与检测	145
一、单向晶闸管的特性	145
二、单向晶闸管的应用	146
三、单向晶闸管的检测	146
四、单向晶闸管的代换	147

第三节 双向晶闸管的识别与检测	148
一、双向晶闸管的特性	148
二、双向晶闸管的应用	149
三、双向晶闸管的检测	149
第四节 可关断晶闸管的识别与检测	150
一、可关断晶闸管的特性	150
二、可关断晶闸管的应用	151
三、可关断晶闸管的检测	152
第五节 BTG 晶闸管的识别与检测	153
一、BGT 晶闸管的特性	153
二、BTG 晶闸管的应用	154
三、BTG 晶闸管的检测	155
第六节 四端小功率晶闸管的识别与检测	155
一、四端小功率晶闸管的特性	155
二、四端小功率晶闸管的检测	156
第七节 光晶闸管的识别与检测	157
一、光晶闸管的结构与原理	157
二、常见光晶闸管	158
三、光晶闸管的使用	159
四、光晶闸管的检测	159
第八节 其他晶闸管的识别与检测	160
一、逆导晶闸管	160
二、温控晶闸管	161
三、晶闸管模块	161
第八章 电声器件的识别与检测	164
第一节 扬声器的识别与检测	164
一、扬声器的特性及种类	164
二、扬声器的主要技术参数	166
三、扬声器的检测	167
四、扬声器使用注意事项	167
五、扬声器的更换	168
第二节 耳机的识别与检测	169
一、耳机的特性	169
二、耳机的检测	169
三、耳机的维修	169
第三节 压电陶瓷蜂鸣片和蜂鸣器的识别与检测	170
一、压电陶瓷蜂鸣片	170

二、压电陶瓷蜂鸣器	171
第四节 传声器的识别与检测	171
一、驻极体话筒	172
二、动圈式话筒	175
三、电容式话筒	176
第九章 石英晶体、陶瓷元件和延迟线的识别与检测	178
第一节 石英晶体的识别与检测	178
一、石英晶体的特性	178
二、石英晶体的种类、型号和参数	179
三、石英晶体的检测	181
四、石英晶体的修理	182
第二节 陶瓷元件的识别与检测	183
一、声表面波器件	183
二、陶瓷滤波器和陶瓷陷波器	186
三、陶瓷鉴频器	186
第三节 超声延迟线的识别与检测	186
一、亮度延迟线	187
二、色度延迟线	188
第十章 开关、接插件和继电器的识别与检测	191
第一节 开关器件的识别与检测	191
一、机械开关	191
二、薄膜开关	193
三、接近开关	194
四、光电开关	195
第二节 接插件的识别	196
第三节 继电器的识别与检测	197
一、继电器的分类	197
二、普通电磁继电器	198
三、固态继电器(SSR)	203
四、干簧管和干簧继电器	207
第十一章 传感器件的识别及检测	209
第一节 传感器概述	209
一、传感器的组成	209
二、传感器的分类	209
三、传感器的选择和使用	210
第二节 磁敏传感器	211
一、霍尔元件	211

二、霍尔传感器	213
第三节 气敏传感器	213
一、气敏传感器的结构与特性	214
二、气敏传感器的应用	214
三、气敏传感器的检测	216
第四节 光敏传感器	216
一、光敏电阻	217
二、光敏二极管	217
三、光敏三极管	217
四、光电耦合器	217
第五节 温度传感器	219
一、热敏电阻	219
二、热敏三极管	219
三、热电偶	219
四、热释电温度传感器	221
第六节 湿敏传感器	225
一、氯化锂湿敏电阻	225
二、半导体湿敏电阻	225
第七节 声敏传感器	226
第八节 电感式传感器	227
一、高频振荡器	227
二、振荡检测器及射随输出电路	228
三、金属探测原理	228
第十二章 显示器件的检测	229
第一节 LED数码管的识别与检测	229
一、LED数码管的结构和原理	229
二、LED数码管的分类	230
三、LED数码管的性能特点	231
四、LED数码管的检测	231
五、注意事项	231
第二节 彩色显像管的识别与检测	232
一、彩色显像管的分类及特性	232
二、自会聚显像管的构造	236
三、自会聚显像管的性能要求	238
四、彩色显像管的检测	239
五、彩色显像管的代换	243
第三节 示波管和真空荧光显示屏简介	245

一、示波管	245
二、真空荧光显示屏 VFD	246
第四节 液晶显示屏简介	247
一、TN 型液晶显示器件	248
二、TFT 液晶显示屏	251
第五节 等离子显示屏(PDP)简介	255
一、等离子显示屏概述	255
二、等离子显示屏的分类	256
三、等离子显示屏的结构	256
第十三章 集成电路的识别及检测	258
第一节 集成电路的分类和主要技术参数	258
一、集成电路的分类	258
二、集成电路的主要技术参数	260
第二节 集成电路的识别	261
一、集成电路的外形和符号识别	261
二、集成电路的型号识别	261
三、集成电路的引脚识别	266
第三节 集成电路的检测、拆卸和焊接	270
一、集成电路的检测	270
二、集成电路的拆焊	275
第十四章 集成稳压器的识别与检测	279
第一节 三端固定电压集成稳压器	279
一、78××系列三端固定正压集成稳压器	279
二、79××系列三端固定负压集成稳压器	283
三、29××低压差集成稳压器的检测	284
第二节 三端可调集成稳压器	285
一、三端可调集成稳压器的特性	285
二、三端可调稳压器的原理及使用	288
三、三端可调集成稳压器的检测	289
第三节 四端、五端集成稳压器	290
一、PQ 系列四端稳压器	290
二、五端可调集成稳压器	291
三、具有复位功能的五端 5V 集成稳压器	292
四、输出电压可控的五端稳压器	293
第四节 电压变换器和取样集成电路	294
一、MAX6××系列 AC-DC 电压变换器	294
二、三端取样集成电路	296

第十五章 片状元器件的识别	297
第一节 常用片状电阻器及其识别	297
一、片状电阻器的阻值和允差标注方法	297
二、常见片状电阻器介绍	298
第二节 常用片状电容器及其识别	300
一、片状电容器容量和允差标注方法	300
二、常见片状电容器介绍	301
第三节 常用片状电感器及其识别	303
一、片状电感电感量的标注方法	303
二、常见片状电感器介绍	303
第四节 常用片状二极管及其识别	304
一、片状二极管的型号、结构及标注	304
二、常见片状二极管介绍	305
第五节 常用片状三极管、场效应管及其识别	308
一、片状三极管的型号识别	308
二、片状三极管及场效应管介绍	308
第六节 常用片状稳压IC 及其识别	310
一、五脚稳压模块	310
二、六脚稳压模块	310
附录 国内外晶体管型号命名法	311
一、中国晶体管型号命名法	311
二、日本晶体管型号命名法	312
三、国际电子联合会晶体管型号命名法	314
四、美国晶体管型号命名法	315
参考文献	317

第一章 电阻器与电位器的识别与检测

电阻器是一种最基本的电子元件,从阻值方面可分为固定电阻器(电阻器)、可变电阻器(电位器)和特种电阻器三大类。在电路中,电阻器多用来进行降压、分压、分流、阻抗匹配等。本章主要从识别和检测等几个方面,对电阻器和电位器进行系统分析。

第一节 电阻器的识别及检测

一、电阻器的定义及分类

1. 电阻器的定义

电阻器通常也称为电阻,是一个为电流提供通路的电子器件,可以定义为每单位电流在导体上所引起的电压。

电阻(R) = 电压(U) / 电流(I),即

$$R=U/I$$

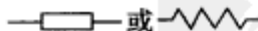
电阻没有极性(正、负极),这与电源不同,因此在电路中可以任意连接。

电阻元件的基本特征是消耗能量,其基本参量是电阻值(R),单位为欧姆(Ω)、千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$)。其中

$$1k\Omega = 1000\Omega$$

$$1M\Omega = 1000k\Omega$$

电阻的电路符号为



2. 电阻器的分类

电阻按电阻体材料、结构形状、引出线及用途等分成多个种类,如图 1-1 所示。

电阻的常见外形如图 1-2 所示。

电阻的种类虽多,但常用的主要为 RT 型碳膜电阻、RJ 型金属膜电阻、RX 型线绕电阻和片状电阻,其中,过去的国产 RT 型电阻外表通常涂覆绿漆,RJ 型金属膜电阻则涂覆红漆,且一般都印上型号及规格等,较易识别。近年来随着进口及合资产品大量上市,RT 型电阻中以色环电阻占据主流地位,其底色并不很一致;RX 型线绕电阻外表多为黑色,被釉线绕电阻则多为深绿或浅绿色。片状电阻外表一般都为黑色,且上面标注有代表阻值的数字;若不为黑色且标注为 0 或 000 或根本无标注,这种片状元件并非电阻,而是一种用于代替连接导线、阻值为零的“桥接元件”。

下面重点介绍一下应用最普遍的碳膜电阻、金属膜电阻和线绕电阻的特点。

1) 碳膜电阻器

碳膜电阻器的外形和内部结构如图 1-3 所示。

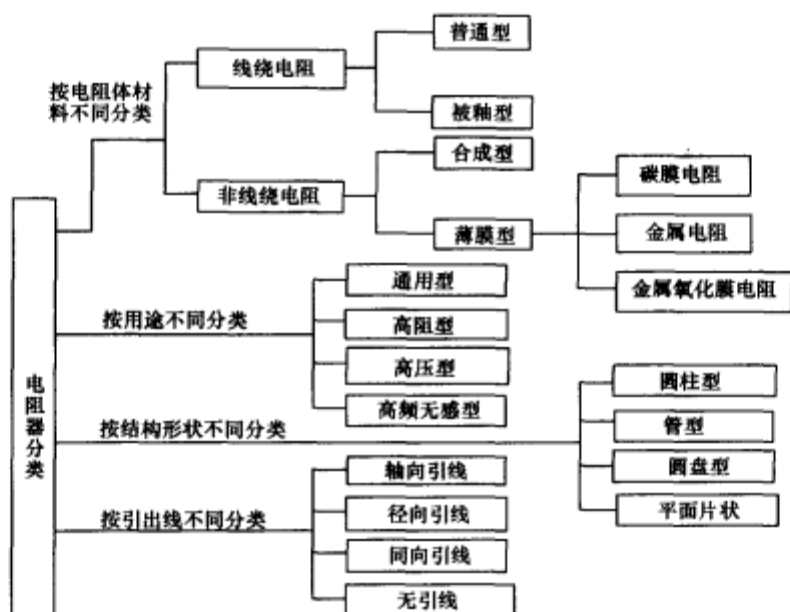


图 1-1 电阻的分类

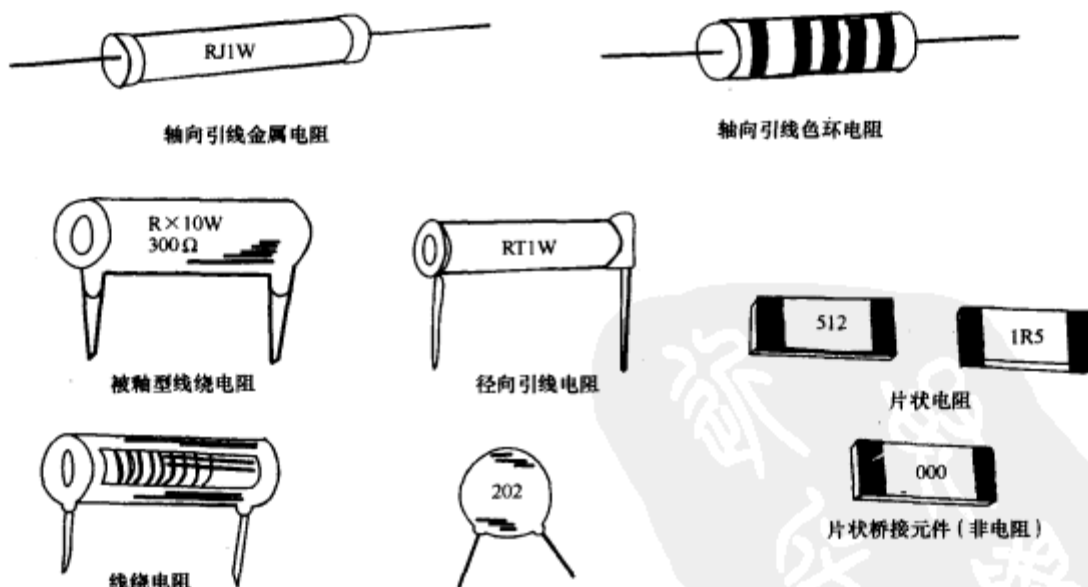


图 1-2 电阻的常见外形

这种电阻器是用结晶碳沉积在瓷棒或瓷管上制成的。改变碳膜的厚度和用刻槽的方法变更碳膜的长度，可以得到不同的阻值，碳膜电阻的主要特点是高频性能好，价格低。碳膜电阻是应用最多的一种电阻。

2) 金属膜电阻器

常用的金属膜电阻器的外形和内部构造如图 1-4 所示。

金属膜电阻器的电阻膜是通过真空蒸发等方法，使合金粉沉积在瓷基体上制成的。刻槽和改变金属膜厚度可以精确地控制阻值。金属膜电阻器的主要特点是耐热性能好，

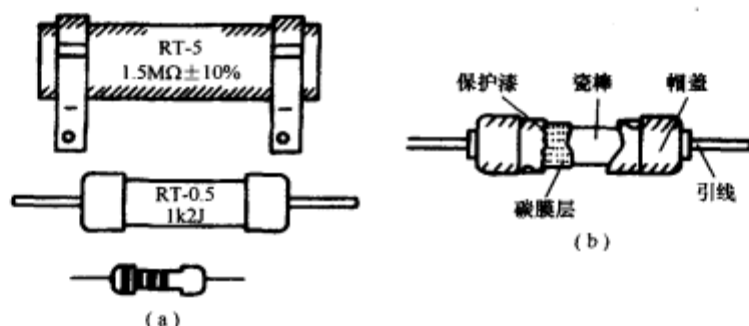


图 1-3 碳膜电阻器的外形和内部结构

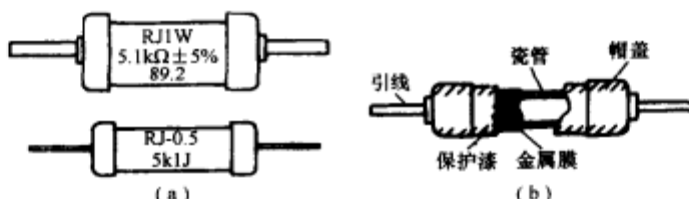


图 1-4 金属膜电阻器的外形和内部结构

其额定工作温度为 70°C ，最高可达 155°C 。它与碳膜电阻器相比，体积小、噪声低、稳定性好。它的工作频率也较宽，但成本稍高。通过合金粉成分的调节和成膜工艺的更换等方法，还可以制成精密、高阻、高频、高压、高温等各种类型的金属膜电阻器。金属膜电阻器适用于要求较高档的通信设备、电子仪器等电路中；在家用电器上也得到了较多的应用。

3. 线绕电阻器

线绕电阻器是用电阻率较大的镍铬合金、锰铜等合金线在陶瓷骨架上缠绕而制成的。

图 1-5 是几种线绕电阻器的外形和内部结构图。

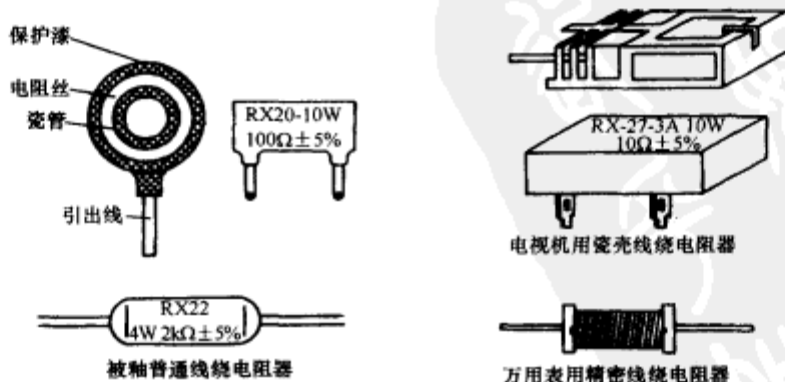


图 1-5 线绕电阻器的外形和内部结构图

线绕电阻器有很多特点，如耐高温（能在 300°C 的高温下稳定工作）、噪声小、阻值的精度高等。线绕电阻器的额定功率较大（ $4\text{W} \sim 300\text{W}$ ），常用在电源电路中作限流电阻（如彩电电源中的水泥电阻）等。也可制成精密型电阻器，如万用表中作分流电阻用。一般的

线绕电阻器由于结构上的原因,其分布电容、电感较大,不宜用在高频电路中。

二、电阻器的字母代号及其意义

国内电阻器的代号一般有四部分组成,如图 1-6 所示。

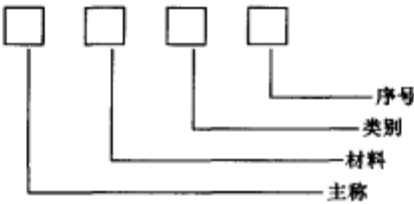


图 1-6 电阻器的代号表示法

各部分有其确切的含义,见表 1-1。

表 1-1 电阻器字母代号及其含义

第 1 部分:主称		第 2 部分:电阻体材料		第 3 部分:类别		第 4 部分:序号
字母	含义	字母	含义	数字或字母	产品类型	用数字表示
R	固定电阻器	T	碳膜	1	普通型	常用个位数或无数字表示
		P	硼碳膜	2	普通型	
		U	硅碳膜	3	超高频	
		H	合成膜	4	高阻	
		I	玻璃釉膜	5	高阻	
		J	金属膜	6		
		Y	氧化膜	7	精密型	
		S	有机实芯	8	高压型	
		N	无机实芯	9	特殊型	
		X	线绕	G	高功率	
		C	沉积膜	T	可调	
				W	微调	
				D	多圈	

三、电阻器的基本参数

电阻器的基本参数主要有以下几种。

1. 标称值

标称值是指按国家规定标准化的电阻值。不同类型电阻有不同的阻值范围,不同精度的电阻其标称阻值系列也不同。

各电阻的标称值应是符合国家规定的数值之一再乘以 $10^n\Omega$, n 为正整数。

标称系列中大部分值不是整数。这样规定是为了保证在同一系列中,相邻两个数中较小数的正偏差与较大数的负偏差彼此衔接或稍有重叠,这样可以使电子电路所需要的电阻全部包括在系列中。电阻标称阻值见表 1-2。

表 1-2 电阻标称阻值系列

系列	容差	标 称 值											
E24	±5%	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
		1.1	1.3	1.6	2.0	2.4	3.0	3.6	4.3	5.1	6.2	7.5	9.1
E12	±10%	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
E6	±20%	1.0		1.5		2.2		3.3		4.7		6.8	

根据表 1-2, 可得到容差为±10%的电阻标称阻值系列, 见表 1-3。

表 1-3 ±10%电阻标称阻值系列

1Ω 级	10Ω 级	100Ω 级	1kΩ 级	10kΩ 级	100Ω 级	1MΩ 级
1	10	100	1k	10k	100k	1M
1.2	12	120	1.2k	12k	120k	1.2M
1.5	15	150	1.5k	15k	150k	1.5M
1.8	18	180	1.8k	18k	180k	1.8M
2.2	22	220	2.2k	22k	220k	2.2M
2.7	27	270	2.7k	27k	270k	2.7M
3.3	33	330	3.3k	33k	330k	3.3M
3.9	39	390	3.9k	39k	390k	3.9M
4.7	47	470	4.7k	47k	470k	4.7M
5.6	56	560	5.6k	56k	560k	5.6M
6.8	68	680	6.8k	68k	680k	6.8M
8.2	82	820	8.2k	82k	820k	8.2M

使用表中所表示的数值系列很方便, 因为无论需要多大数值的电阻, 都能够得到。容差±10%时, 1Ω 的下面是 1.2Ω, 接下去是 1.5Ω。这样毫不间断地连续下去。现在可以用 22Ω 为例, 加以考虑。22Ω 的±10%的范围是 19.8Ω~24.2Ω。假如在设计上想用 21Ω 或 23Ω 的电阻, 若是电路的精度容许±10%的误差, 那么, 都可以使用 22Ω 的电阻。另外, 当需要 25Ω 或 26Ω 时, 可以使用 27Ω 的电阻。

容差±10%时, 18Ω 的±10%是 16.2Ω~19.8Ω; 22Ω 的±10%是 19.8Ω~24.2Ω; 27Ω 的±10%是 24.3Ω~29.7Ω。从这里不难看出 18Ω 的下面是 22Ω, 再下面就是 27Ω。误差是±5%时, 可在它们中间加入 20 和 24, 这样仍可利用误差范围, 作到前后连续, 毫不间断。因此, 可以得到所需要的一切电阻值。如果电路需要较高的准确性, 则应根据精度要求, 使用误差±2%甚至±1%的电阻器。

2. 额定功率

电阻的额定功率是指在标准大气压和一定环境温度下(20±5°C), 自身允许承受的最大功率。在该功率限度以下, 电阻器可以正常工作而不会改变其性能, 也不会损坏。

电阻的功率决定了电阻能安全通过的电流大小, 单位为瓦特(W)。例如, 一个 1kΩ、1/4W 的电阻, 能通过的最大电流为

$$I = \sqrt{\frac{W}{R}} = \sqrt{\frac{0.25}{1000}} = 16(\text{mA})$$

式中, I 是电阻上通过的最大电流; W 是功率; R 是电阻值。

常用电阻器的功率有 $1/8W$ 、 $1/4W$ 、 $1/2W$ 、 $1W$ 、 $2W$ 、 $5W$ 、 $10W$ 等。 $2W$ 以上的电阻, 在标注功率时一般直接印在电阻体上, $2W$ 以下的电阻, 一般以自身体积大小来表示功率。在电路图上表示功率时, 常采用如图 1-7 所示的符号。不难看出, 额定功率值在 $1W$ 以上用罗马数字表示。

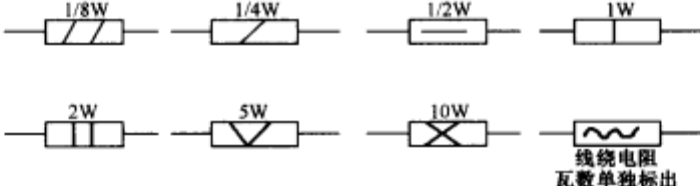


图 1-7 电阻功率表示法

如果电路中不标示功率, 一般表示该电阻工作时消耗功率很小, 可不必考虑, 例如大部分业余电子制作中对电阻器功率都没有要求, 这时可选用 $1/8W$ 或 $1/4W$ 电阻器。

3. 容差

容差指电阻实际阻值与标称阻值的相对误差。容差表示了电阻值偏离标称值的范围, 是衡量电阻精度的指标。实际的电阻值不等于标称值的主要原因是由于温度的变化。

一般电阻产品的容差为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$, 表示电阻值偏离标称值的百分数。例如, 一个电阻阻值为 $1k\Omega$, 容差为 $\pm 10\%$, 则该电阻的实际值为 $1k\Omega \pm 10\%$, 即 $(1k\Omega + 100\Omega)$ 到 $(1k\Omega - 100\Omega)$ 之间, 即 $1.1k\Omega \sim 0.9k\Omega$ 。电阻的精度等级见表 1-4。

表 1-4 电阻精度等级

容差	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
级别	005	01	I	II	III

市场上常见的电阻多为 I 级或 II 级, 对一般的应用场合已能满足使用的要求。在电子产品设计中要根据电路的不同要求选用不同精度的电阻。

4. 温度系数

温度系数指电阻值随温度的变化率, 金属膜、合成膜等电阻都具有较小的温度系数, 碳膜电阻的温度系数较大。

5. 非线性

加在电阻两端的电压与电阻中的电流之比不是常数时, 称为非线性。

电阻的非线性用电压系数表示, 即在规定电压范围内每改变 $1V$ 时电阻值的平均相对变化量。一般金属型电阻的非线性度很小, 非金属型电阻有较大的非线性。

6. 噪声

电阻阻值不规则的微小变化叫做电阻的噪声。电阻噪声有热噪声和电流噪声两种。

任何电阻都有热噪声, 降低电阻的工作温度, 可以减小热噪声; 电流噪声与电阻内部的微观结构有关, 合金型电阻无电流噪声, 薄膜型电阻的电流噪声较小, 合成型电阻的电流噪声最大。在精密电子电路中要注意解决电阻的噪声问题。

7. 极限电压

电阻能够承受而不会造成损坏的最高电压称为电阻的极限电压。电阻两端电压加到

一定值时,会发生电击穿现象,使电阻损坏。极限电压受电阻的材料、尺寸及结构的限制。

四、电阻器的识别

由于电阻器的体积很小,一般只在其表面标明阻值、精度、材料、功率等几项。对于 $1/8\text{W}\sim 1/2\text{W}$ 之间的小功率电阻器,通常只标注阻值和精度,而材料及功率则由外形尺寸和颜色来判断。参数标注的方法有文字直接标注和色环标注两种。

1. 文字直接标注

文字直接标注法就是直接印出阻值,如 $1.5\text{k}\Omega$ 的电阻器上印有“1.5k”或“1k5”字样。另外,通过电阻上所标的字母可以判断制成电阻的原料,见表 1-5。

表 1-5 电阻字母与材料的对应关系

符号	T	J	X	H	Y	C	S	I	N
材料	碳膜	金属膜	线绕	合成膜	氧化膜	沉积膜	有机实芯	玻璃釉膜	无机实芯

对于普通碳膜和金属膜的电阻,可通过外表颜色判定。国产碳膜电阻通常涂绿色或棕色,金属膜电阻涂红色。

2. 色环标注

小功率电阻(特别是 0.5W 以下的碳膜和金属膜电阻)多用表面色环表示标称阻值,每一种颜色代表一个数字,这在工程上叫做色码。

电阻阻值的色环表示有三色环、四色环和五色环三种,其含义如图 1-8 所示。

对于四色环电阻,用 3 个色环来表示阻值(前二环代表有效值,第三环代表乘上的次方数),用 1 个色环表示误差。五色环电阻一般是金属膜电阻,为更好地表示精度,用 4 个色环表示阻值,另一个色环表示误差。

表 1-6 是四色环电阻的颜色—数值对照表。表 1-7 是五色环电阻的颜色—数值对照表。

表 1-6 四色环电阻色环标志法

色环 颜色	第一色环	第二色环	第三色环	第四色环
	第一位数字	第二位数字	前两位数后加零的个数	误差范围
黑	—	0	$\times 10^0$	—
棕	1	1	$\times 10^1$	—
红	2	2	$\times 10^2$	—
橙	3	3	$\times 10^3$	—
黄	4	4	$\times 10^4$	—
绿	5	5	$\times 10^5$	—
蓝	6	6	$\times 10^6$	—
紫	7	7	$\times 10^7$	—

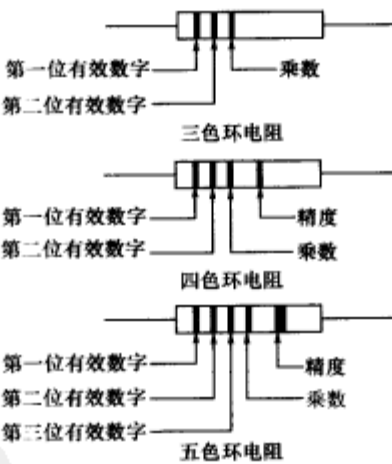


图 1-8 三色环、四色环和五色环电阻的含义

(续)

色环 颜色	第一色环 第一位数字	第二色环 第二位数字	第三色环 前两位数后加零的个数	第四色环 误差范围
灰	8	8	$\times 10^8$	—
白	9	9	$\times 10^9$	—
金	—	—	$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
银	—	—	$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
无色	—	—	—	$\pm 20\%$

表 1-7 五色环电阻色环标志法

色环 颜色	第一色环 第一位数字	第二色环 第二位数字	第三色环 第三位数字	第四色环 前两位数后加零的个数	第五色环 误差范围
黑	—	0	0	$\times 10^0$	—
棕	1	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$
红	2	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
橙	3	3	3	$\times 10^3$	—
黄	4	4	4	$\times 10^4$	—
绿	5	5	5	$\times 10^5$	$\pm 5\%$
蓝	6	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	8	$\times 10^8$	—
白	9	9	9	$\times 10^9$	—
金	—	—	—	$\times 10^{-1}$	
银	—	—	—	$\times 10^{-2}$	

图 1-9 给出的是 $27\text{k}\Omega$ 和 1.75Ω 两个色环电阻。

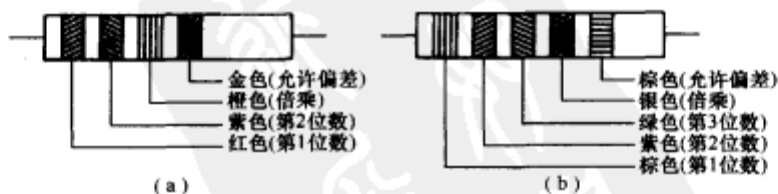


图 1-9 四色环和五色环电阻表示法

(a) $27\text{k}\Omega \pm 5\%$; (b) $1.75\Omega \pm 1\%$ 。

方法技巧:下面以四色电阻为例,简要介绍色环电阻快速识别的方法。

带有 4 个色环的其中第一、二环分别代表阻值的前两位数;第三环代表倍率;第四环代表误差。快速识别的关键在于根据第三环的颜色把阻值确定在某一数量级范围内,例如是几点几 $\text{k}\Omega$ 、还是十几 $\text{k}\Omega$ 的,再将前两环读出的数“代”进去,这样就可很快读出数来。

(1)熟记第一、二环每种颜色所代表的数。可这样记忆:黑 0、棕 1、红 2、橙 3、黄 4、绿 5、蓝 6、紫 7、灰 8、白 9。这样连起来读,多复诵几遍便可记住。

(2)记准记牢第三环颜色所代表的阻值范围,这一点是快速识别的关键。具体是:

银色:零点几欧
 金色:几点几欧
 黑色:几十几欧
 棕色:几百几十欧
 红色:几点几千欧
 橙色:几十几千欧
 黄色:几百几十千欧
 绿色:几点几兆欧
 蓝色:几十几兆欧

从数量级来看,大体上可把它们划分为 3 个大的等级,即:银、金、黑、棕色是欧姆级的;红、橙、黄是千欧级的;绿、蓝色则是兆欧级的。这样划分一下是为了便于记忆。

(3)记住第四环颜色所代表的误差,即:金色为 5%;银色为 10%;无色为 20%。

例如,当 4 个色环依次是黄、橙、红、金色时,因第三环为红色、阻值范围是几点几 kΩ 的,按照黄、橙两色分别代表的数“4”和“3”代入,则其读数为 43kΩ。第四环是金色表示误差为 5%。

五、电阻器的串联与并联

有时,电路中需要使用的电阻值不同于标称值。在这种情况下,需要以串联或并联电阻的方式得到需要的阻值。

1. 电阻的串联

在串联方式下,各电阻首尾相接,如图 1-10 所示。

在这种连接中,总电阻值等于端点 A 和 B 之间各电阻值之和,即

$$R_{AB} = R_1 + R_2 + R_3$$

2. 电阻的并联

在并联方式下,各电阻的连接如图 1-11 所示。

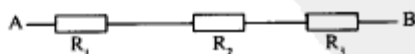


图 1-10 电阻的串联

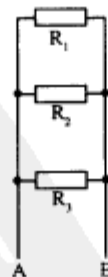


图 1-11 电阻的并联

在这种连接中,总电阻值或等效电阻值的倒数等于端点 A 和 B 之间各电阻值倒数之和,即

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

如果只有两个电阻并联,上面的公式可以简化为

$$R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

例如,两个 $1\text{k}\Omega$ 的电阻并联,总阻值为

$$R = \frac{1 \times 1}{1 + 1} = 0.5\text{k}\Omega = 500\Omega$$

六、电阻器的作用及选用

1. 电阻器的作用

电阻器的主要作用之一是限流。从欧姆定律 $I=U/R$ 可知,当电压 U 一定时,流过电阻的电流 I 与电阻值 R 成反比。选择适当阻值的电阻器,就可以将电流 I 限定在某一要求数值上,这就是电阻器的限流作用。

电阻器的另一主要作用是降压。当电流流过电阻器时,必然会在电阻器上产生一定的压降,压降大小与电阻值 R 及电流的乘积成正比,即: $U=IR$ 。利用电阻器的降压作用,可以使较高的电源电压适应电路工作电压的要求。

2. 电阻器的选用

(1) 优先选用通用型电阻器。通用型电阻器种类很多,如碳膜电阻、金属膜电阻、金属氧化膜电阻、金属玻璃釉电阻、实芯电阻、线绕电阻等。这类电阻器的阻值范围宽,精度包括 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 三级,功率为 $0.1\text{W} \sim 10\text{W}$ 。由于它们品种多,规格齐全,来源充足,价格便宜,所以有利于生产和维修。

(2) 所用电阻器的额定功率必须大于实际承受功率的两倍。要保证电阻器正常工作而不致烧坏,必须使它实际工作时所承受的功率不超过其额定功率。为了使电阻器工作可靠,通常所选用电阻器的额定功率要大于其实际承受功率的两倍以上。例如电路中某电阻实际承受功率为 0.5W ,则应选用额定功率为 1W 以上的电阻器。

(3) 在高增益前置放大电路中,应选用噪声电动势小的电阻器,以减小噪声对有用信号的干扰。例如可选用金属膜电阻器、金属化电阻器、碳膜电阻器。实芯电阻器噪声电动势较大,一般在前置放大电路中不宜使用。

(4) 根据电路工作频率选择电阻器。由于各种电阻器的结构和制造工艺不同,其分布参数也不相同。RX 型线绕电阻器的分布电感和分布电容都比较大,只适用于频率低于 50kHz 的电路;RH 型合成膜电阻器和 RS 型有机实芯电阻器可以用在几十 MHz 的电路中;RT 型碳膜电阻器可在 100MHz 左右的电路中工作;而 RJ 型金属膜电阻器和 RY 型氧化膜电阻器可以工作在高达数百 MHz 的高频电路中。

(5) 根据电路对温度稳定性的要求,选择电阻器,由于电阻器在电路中的作用不同,所以对它们在稳定性方面的要求也就不同,例如在退耦电路中的电阻,即使阻值有所变化,对电路工作影响并不大;而应用在稳压电源中作电压取样的电阻,其阻值的变化,将引起输出电压的变化。

实芯电阻器温度系数较大,不宜用在稳定性要求较高的电路中;碳膜电阻器、金属膜电阻器、玻璃釉膜电阻器都具有较好的温度特性,很适合应用于稳定度较高的场合;线绕电阻器由于采用特殊的合金线绕制,它的温度系数极小,因此其阻值最为稳定。

(6)根据安装位置选用电阻器。由于制作电阻器的材料和工艺不同,因此相同功率的电阻器,其体积并不相同。例如相同功率的金属膜电阻器的体积就比碳膜电阻器小1倍左右,因此适合于安装在元件比较紧凑的电路中;反之,在元件安装位置中较宽松的场合,选用碳膜电阻器就相对经济些。

(7)根据工作环境条件选用电阻器。使用电阻器的环境,例如温度、湿度等条件不同时,所选用的电阻器种类也不相同。像沉积膜电阻器不宜用于易受潮气和电解腐蚀影响的场合;如果环境温度较高,可以考虑用金属膜电阻器或氧化膜电阻器,它们都可在 $\pm 125^{\circ}\text{C}$ 的高温条件下长期工作。

七、电阻器的检测

电阻器的测量分在路和非在路测量两种情况。无论哪一种情况,测量之前都应根据对被测电阻的估测(如色环、直接标识的阻值数)来选择万用表合适的量程。

1. 非在路测量

非在路测量是指把电阻焊下一脚再进行测量,这无疑是最准确的方法。当被测电阻的阻值较大时,不能用手同时接触被测电阻两个引脚,否则人体的电阻会与被测电阻器并联影响测量的结果,尤其是测几百千欧的大阻值电阻,最好手不要接触电阻体的任何部分。对于几欧的小电阻,应注意使表笔与电阻引出线接触良好,必要时可将电阻两引线上的氧化物刮掉再进行检测。

2. 在路测量

在路测量电阻器阻值,只能用来判断电阻的好坏,而不能具体说明电阻的量的变化。但这种方法方便、迅速,是维修人员判断故障的常用方法。

当用指针万用表在路测量电阻器的阻值时,一般读数应小于或等于实际被测电阻器的阻值;因为在路测量时会受到与被测电阻器并联的电阻、晶体二极管、晶体三极管的影响。这时,最好考虑用数字万用表来在路测量电阻器的阻值。由于数字万用表转到电阻档时,两表笔间的测量电压较小,测量时受晶体二极管、三极管的影响较小,测量的准确度较高。

八、电阻器的修复与代换

(1)对于碳膜电阻或金属膜电阻,如果属于引线折断故障,可以把断头的铜压帽(卡圈)上的漆膜刮去,重新焊出引线,继续使用,但要注意操作动作要快,以免电阻因受热过度导致阻值变化或造成压帽松脱。

(2)如果碳膜电阻器阻值高,可以用小刀刮去保护漆,露出碳膜,然后用铅笔在碳膜上来回涂,使阻值变小,直至阻值达到所需值,然后再涂上一层漆作为绝缘保护膜。如果阻值偏低,则可以将电阻表面碳膜用砂纸或小刀轻轻地刮掉一些。刮时不能太急、太重,应边刮边用万用表测量,达到要求阻值后,再用漆将被刮表面涂覆住即可。

(3)在修理中,若发现某一电阻变值或损坏,手头又没有同规格电阻更换,可采用串、并联电阻的方法进行应急处理。需要注意的是,在采用串并联方法时,除了计算总阻值是否符合要求外,还要注意其额定功率是否符合要求。

第二节 电位器的识别及检测

一、电位器的分类及外形

电位器是一种连续可调的电阻器,其滑动臂(动接点)的接触刷在电阻体上滑动,可获得与电位器外加输入电压和可动臂转角成一定关系的输出电压,就是说通过调节电位器的转轴,使它的输出电位发生改变,所以称为电位器,也称为可变电阻。

电位器的电路符号如图 1-12 所示。常用电位器外形及图形符号如图 1-13 所示。

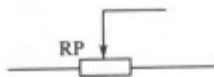


图 1-12 电位器的电路符号

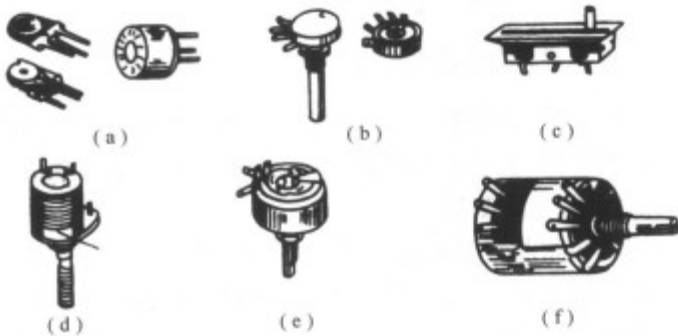


图 1-13 常见电位器外形

(a) 半可调式电位器；(b) 旋转式电位器；(c) 直滑式电位器；
(d) 推拉式电位器；(e) 绕线电位器；(f) 同轴双联电位器。

电位器的种类很多,但有关电位器规格、型号命名及代号并不统一,常见电位器分类见表 1-8。一般电位器主体上都要注明如材料、阻值、功率、阻值变化特征等。

表 1-8 常见电位器分类

分 类 形 式			举 例
材料	合金型	线绕	绕线电位器(WX)
		金属箔	金属箔电位器
	薄膜型		金属膜电位器(WJ)、金属氧化膜电位器(WY) 复合膜电位器(WH)、碳膜电位器(WT)
	合成型	有机	有机实芯电位器(WS)
		无机	无机实芯电位器(WS)、金属玻璃釉电位器(WI)
	导电塑料		直滑式电位器(LP)、旋转式电位器(CP)
用 途			普通、精密、微调、功率、高频、高压、耐热
阻值变化规律		线性	线性电位器(X)
		非线性	对数式电位器(D)、指数式电位器(Z)、正余弦式电位器
结构特点			单圈/多圈、单联/多联、有值档/无值档、带推拉开关、带旋转开关、锁紧式
调节方式			旋转式、直滑式

下面仅将根据不同制造材料来分类的几种常用电位器作一简要介绍。

1. 线绕电位器

电阻体是由绕在绝缘骨架上的电阻丝组成。其主要优点是能耐较高的温度,可制成功率型电位器。缺点是分辨力有限,阻值的变化规律呈阶梯状。

2. 实芯电位器

常用的有有机合成实芯电位器和无机合成实芯电位器。

有机合成实芯电位器是用有机黏合剂将碳质导电物、填料均匀混合构成电阻体材料，连同引出脚与绝缘塑料粉压制在一起，经加热聚合而成。其特点是分辨力很高，耐磨耐热，且体积小，适合在小型电子设备中使用。

无机合成实芯电位器是用如玻璃釉等含无机黏合剂的碳质合成物和填料混合、冷压在基体上并经烧结而成。具有体积小、防潮、耐热等特点。

3. 碳膜电位器

电阻体是用配制好的悬浮液涂抹在玻璃纤维板或纸胶板上制成。它是目前使用最广泛、品种最多、价格最低的一种电位器。其突出优点是，分辨力高，阻值范围宽，可从几百 Ω 到几M Ω 。缺点是功率较小，耐热耐湿性能稍差。

二、电位器的参数

制作电位器所用的电阻材料与相应的固定电阻相同，所以其主要参数的定义，如额定功率等与相应的固定电阻器也基本相同。但由于电位器上存在活动触点，而且阻值是可调的，因此还具有如下几项参数。

1. 阻值的最大值和最小值

每个电位器的外壳上都标有它的标称阻值，这是指电位器的最大电阻值。最小电阻值又称为零位电阻。由于活动触点存在接触电阻，因此，最小电阻值不可能为零，但要求此值越小越好。

2. 阻值变化特性

为了满足各种不同的用途，电位器阻值变化规律也有所不同。常见的电位器阻值变化规律有三种类型，直线式(X型)、指数式(Z型)和对数式(D型)，如图1-14是三种形式电位器的阻值随活动触点的旋转角度变化的曲线图。

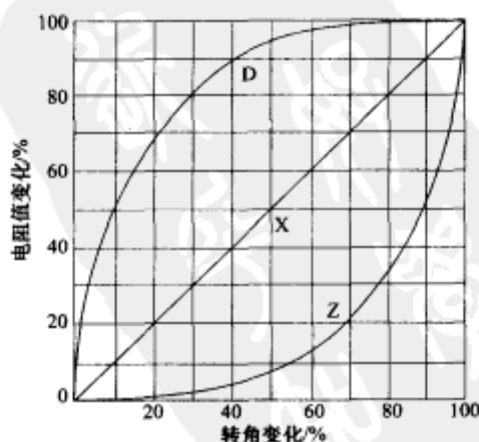


图 1-14 电位器阻值曲线

图1-14中纵坐标表示当某一角度时，电阻实际数值与电位器总电阻值的百分数，横坐标表示的是某一旋转角与最大旋转角的百分数。

由图1-14可见，X型电位器，其阻值变化与转角成直线关系，也就是电阻体上导电物

质的分布是均匀的,所以单位长度的阻值相等。它适用于一些要求均匀调节的场合,如分压器、偏流调整等电路中。对于 Z 型电位器,在开始转动时,阻值变化较小,而在转角接近最大转角一端时,阻值变化就比较显著,这种电位器适合于音量控制电路。因为人耳对微小的声音稍有增加时,感觉很灵敏,但声音大到某一值后,即使声音功率有了较大的增加,人耳的感觉却变化不大。因此,采用这种电位器作音量控制,可获得音量与电位器转角近似于线性的关系。而 D 型电位器的阻值变化与 Z 型正好相反,它在开始转动时阻值变化很大,而在转角接近最大值时,阻值变化就比较缓慢,它适用于音调控制等电路。

除了上述参数外,电位器还有符合度、线性度、分辨力、平滑性、动态噪声等专项参数。但一般选用电位器时不必考虑这些参数。

三、电位器的作用及选用

1. 电位器的作用

电位器主要有两个作用:

(1)用作变阻器。如图 1-15 所示。

这时,电位器是一个两端器件,相当于一个可调电阻。转动电位器转柄,改变活动触点的位置,在电位器活动触点的整个行程范围内便可得到一个平滑的连续可调的阻值。

(2)用作分压器。如图 1-16 所示。

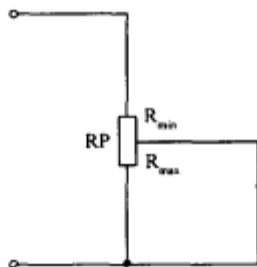


图 1-15 电位器用作变阻器

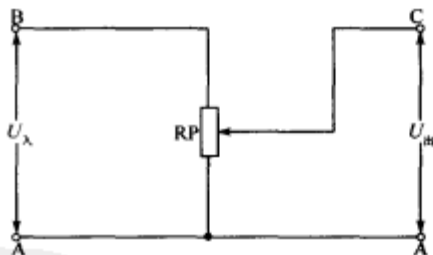


图 1-16 电位器用作分压器

这时电位器是一个四端器件。电位器对电压 U_A 起分压作用,当转动转柄,活动触点随之在电阻体上滑动时,在输出端就可以得到平滑连续变化的输出电压 U_B 。输出电压 U_B 的大小取决于活动触点在电阻体上所处的位置,即转柄转动的角度,以及阻值变化规律,即电阻分布特性。

2. 电位器的选用

选用电位器时一般应注意以下几点:

(1)根据电路的要求,选择合适型号的电位器。一般在要求不高的电路中,或使用环境较好的场合,如在室内工作的收录机的音量、音调控制用的电位器,均可选用碳膜电位器,它的规格齐全,价格低廉。如果需要较精密的调节,而且消耗的功率较大,应选用线绕电位器。在工作频率较高的电路中,选用玻璃釉电位器较为合适。

(2)根据不同用途,选择相应阻值变化规律的电位器。如用于音量控制电位器应选用指数式,也可用直线式勉强代用,但不应该使用对数式。否则,将使音量调节范围变窄。用作分压器时,应选用直线式。作音调控制时,应选用对数式。

(3)选用电位器时,还应注意尺寸大小和旋转轴柄的长短、轴端式样和轴上是否有紧锁

装置等。经常需要进行调节的电位器,应选择半圆轴柄的,以便安装旋钮。不需要经常调整的,可选择轴端带有刻槽的,用螺丝刀调整好后不再经常转动。收音机中的音量、控制电位器,一般都选用带开关的电位器。

四、电位器的检测

对电位器的要求是,接触良好,其动噪声和静噪声应尽量小。对带开关的电位器,其开关部分应动作准确可靠。

在具体检测时,可先检测一下电位器两端片之间的阻值,正常应为其标称值,然后检测它的中心端片与电阻体的接触情况。将万用电表调在电阻档上,将一只表笔接电位器的中心焊接片,另一只表笔接其余两端片中的任意一个,慢慢将电位器转柄从一个极端位置旋转(或滑动)至另一个极端位置,其阻值则应从零(或标称值)连续变化到标称值(或零)。整个旋转(或滑动)过程中,表针不应有任何跳动现象。对于直线式电位器,当旋转(或滑动)均匀时,其表针的移动也应是均匀的;对指数式或对数式电位器,当旋转(或滑动)均匀时,其表针的移动则是不均匀的。开始较快(或较慢),结束时则较慢(或较快)。另外,在电位器转柄的旋转(或滑动)过程中,应感觉平滑,不应有过松、过紧现象,也不应出现响声。

对于同步双联或多联电位器,还应检测其同步性能,可以在电位器触点动的整个过程中选择4个~5个分布间距较均匀的检测点,在每个检测点上分别测双联或多联电位器中每个电位器的阻值,各相应阻值应相同,误差一般在1%~5%,否则说明同步性能差。

对带开关的电位器,除应进行上述检测外,还应检查开关部分是否良好。旋动或推拉电位器柄,随着开关的断开和接通,应有良好手感,同时可听到开关触点弹动发出的响声。当开关接通时,用万用表 $R \times 1$ 档检测,阻值应为零或接近于零;当开关断开时,用万用表 $R \times 10k$ 或 $R \times 1k$ 档检测,阻值应为 ∞ 。若开关为双联型,则两个开关都应符合这个要求。

五、电位器的修复

电位器常见故障有接触不良、电阻体磨损、旋转不灵活等。修复时,可针对不同情况采取下列几种办法进行处理。

(1)簧片弹性不足时,可把电位器拆开,将簧片接点和簧片根部适当向下压,使簧片接点和碳膜之间接触压力增加。

(2)若因碳膜层表面磨损,造成接触不良时,可以适当将簧片接点向里或向外拨动一下,使接点离开原碳膜层位置,接触变得良好。

(3)碳膜层部分磨损脱落,可用浓铅笔芯研成粉末,掺入黏合剂,拌匀后涂抹在碳膜脱落部位。

(4)如果引出脚和碳膜层之间接触不良,可用汽油或酒精将接触处清洗干净,再用起子或钳子将引出脚处夹紧。

(5)如果电位器出现关不死(即调不到零)的现象,可用较粗的铅笔在碳膜电阻体的终端接触处反复涂抹,以消除死点。

(6)当电位器旋转不灵活时,一般是由于轴内进入尘土或润滑油干枯造成的。可将电位器拆开,用汽油或酒精清洗,然后在转轴处加入适量黄油,按原位装好即可使用。若嫌拆卸电位器困难,也可直接在转轴处滴入些汽油,边滴汽油边转动转轴,使污物逐渐排出,

最后滴入一小滴机油即可恢复灵活。注意,切忌机油滴入过多,防止其流入电阻体内造成活动触点与电阻体接触不良的故障。

第三节 特殊电阻的识别及检测

一、熔断电阻器

1. 外形及图形符号

熔断电阻器又名保险丝电阻器,是一种具有熔断丝(俗称保险丝)及电阻器作用的双功能元件。在正常情况下,具有普通电阻器的电气功能;一旦电路出现故障时,该电阻器因过负荷会在规定的时间内熔断开路,从而起到保护其他元器件的作用。

熔断电阻器的种类很多,按其工作方式分有不可修复型和可修复型两种。目前国内外通常都采用不可修复型熔断电阻器。按其熔断材料分有线绕型、碳膜型、金属膜型、氧化膜型、化学沉积膜型。熔断电阻器的外形有圆柱形、长方形、腰鼓形等,其额定功率一般有0.2W、0.5W、1W、2W、3W等规格,阻值为零点几欧,少数为几十欧至几千欧。在电子电路中,一般情况下是作通用电阻器使用。常见的国内外熔断电阻器符号与外形如图1-17所示。

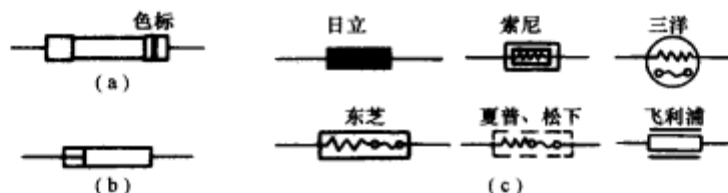


图 1-17 熔断电阻器的外形和图形符号

(a) 外形; (b) 电路符号; (c) 国外常见的图形符号。

熔断电阻器多为灰色,用色环或数字表示阻值,额定功率由尺寸大小决定或直接标在电阻器上。熔断电阻器主要用于彩电、显示器、仪器等高档电器的电源电路中,熔断时间一般为10s。

熔断电阻器常用型号有:RF10型(涂覆型)、RF11(瓷外壳型)、RRD0910型、RRD0911型(瓷外壳型)等。RF10型电阻表面涂有灰色不燃涂料,其电阻阻值用色环表示。RF11的阻值用字母表示,例如:1W 10 Ω 、2W 10 Ω 等。也有不标功率,只标阻值,如1 Ω 2、10 Ω 等。它在电路中的符号与普通电阻器类似,

2. 熔断电阻器的色环标志识别

采用色环法标志阻值的熔断电阻器,其识读方法与普通固定色环电阻器相同。但根据产地的不同又有区别,有的有4个色环,有的只有1个色环,对于4个色环的熔断电阻器的识读,可根据一般色环电阻的规律进行,第一、二环分别代表阻值的前两位数,第三环代表倍率,第四环代表误差。而对于只有一道色环的熔断电阻器,则有如下电气特性。

(1)RN 1/4W。色环为黑色,代表10 Ω ,当有8.5V直流电压加在其上时,1min之内阻值增大为初始值的50倍以上。

(2)RN 1/4W。色环为红色代表2.2 Ω ,当有3.5A电流通过时,2s内电阻值增大为初始值的50倍以上。

(3)RN 1/4W。色环为白色代表 1Ω ，当有 2.8A 交流电流通过时，10s 内电阻值增大为初始值的 400 倍以上。

3. 熔断电阻器的检测方法

在电路中，当熔断电阻器熔断开路后，可根据经验作出判断：若发现熔断电阻器表面发黑或烧焦，可断定是通过它的电流超过额定值很多倍所致；如果其表面无任何痕迹而开路，则表明流过的电流刚好等于或稍大于其额定熔断值。对于表面无任何痕迹的熔断电阻器好坏的判断，可借助万用表 $R \times 1$ 挡来测量，为保证测量准确，应将熔断电阻器一端从电路上焊下。若测得的阻值为无穷大，则说明此熔断电阻器已失效开路，若测得的阻值与标称值相差甚远，表明电阻变值，也不宜再使用。在维修实践中发现，也有少数熔断电阻器在电路中被击穿短路的现象，检测时也应予以注意。

4. 熔断电阻器修复及代换

当发现熔断电阻器被烧坏后，一是注意不要盲目更换，一定要查明烧坏的原因，再进行相应处理；二是千万不能用普通电阻代替，如果暂时没有同规格熔断电阻器，可采用下列方法之一进行应急修复代换。

(1)固定电阻串联保险管代换法。所用固定电阻阻值、功率应与待换熔断电阻器完全相同，所用保险管的额定电流按下式计算为

$$I_{\text{保}} = \sqrt{\frac{0.56P}{R}}$$

式中， P 和 R 分别为待换熔断电阻器的额定功率和额定阻值。例如，若被替换熔断电阻器参数为功率 $1/2\text{W}$ ，阻值 1Ω ，则保险管额定电流为

$$I_{\text{保}} = \sqrt{\frac{0.56P}{R}} = \sqrt{\frac{0.56 \times 0.5}{1}} \approx 0.5(\text{A})$$

即用一只 $1/2\text{W } 1\Omega$ 的固定电阻串接一只 0.5A 的保险管，可在电路中代替一只 $1/2\text{W } 1\Omega$ 的熔断电阻器使用。

(2)用保险管直接替代法。当损坏的熔断电阻器的阻值在 1Ω 以下时，则可以直接用保险管代用，其额定电流仍可用以上公式进行计算选择。

二、熔断丝

熔断丝的作用是在电路过载(电流过大或温度过高等)时自动熔断，保护相关的元器件，以防损坏。常用的熔断丝主要包括普通熔断丝、快速熔断丝、延迟型熔断丝和温度熔断丝等，它们的外形如图 1-18 所示。

1. 普通玻璃管熔断丝

这种熔断丝十分常用，额定电流主要有：0.5A、0.75A、1.0A、1.5A、2.0A、2.5A、3.0A、4.0A、5.0A、6.0A、8.0A 和 10A 等，长度尺寸规格主要有 18mm、20mm、22mm 等。这种熔断丝通常需与相应的熔断丝座配套使用，以方便更换。

2. 快速熔断丝

快速熔断丝的主要特点就是熔断时间短，适用于要求快速切断电路的场合。多为玻璃管型，外形与普通熔断丝没有什么差别。现在的电子电路中已很少使用这种快速熔断丝，取而代之的主要是一种称为“集成电路过流保护管”的器件，其文字符号通常用 ICP 来表

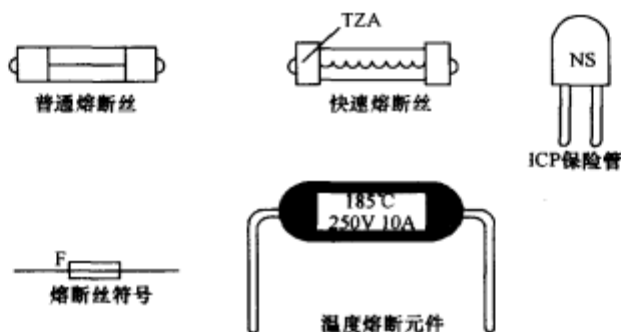


图 1-18 常见熔断丝符号及外形

示。这种 ICP 元件在录像机电源电路中十分常见。ICP 管的外形如同普通塑料封装的小功率三极管,但只有 2 个引脚;使用时一般直接焊接在电路板上,十分方便。ICP 管损坏后可用同规格快速熔断丝作应急代替,注意额定电流要一致。

3. 延迟型熔断丝

延迟型熔断丝的特点是能承受短时间大电流(涌浪电流)的冲击,而在电流过载超过一定时限后能可靠地熔断。这种熔断丝主要用在开机瞬时电流较大的电器(开机电流往往达到正常工作电流的 5 倍~7 倍)中,如彩电中就广泛使用了延迟型熔断丝,其规格主要有 2A、3.15A、4A 等。延迟型熔断丝常在电流规格之前加字母 T,如 T2A 等,这点可区别于普通熔断丝。

4. 温度熔断丝

这种元件通常安装在易发热的电子整机的变压器、功率管上,以及电吹风、电饭锅、电钻电路中等。当机件因故障发热,温升超过允许值时,温度熔断丝自动熔断,切断电源,从而保护了相关零部件。温度熔断丝外壳上常标注有额定温度、电流及电压值。

三、热敏电阻

热敏电阻器是由对温度极为敏感、热惰性很小的半导体材料制成的,常见的有正温度系数(PTC)、负温度系数(NTC)和临界温度系数三类热敏电阻器。正温度系数电阻器的阻值随温度的升高而增大,如常见的彩电用消磁电阻;负温度系数电阻器的阻值随温度的升高而减小。临界温度系数的电阻器的阻值在临界温度附近时基本为零。

1. 负温度系数热敏电阻(NTC)

NTC 是负温度系数的英文缩写,所谓 NTC 热敏电阻器就是负温度系数热敏电阻器。它是以锰、钴、镍和铜等金属氧化物为主要材料,采用陶瓷工艺制造而成的。这些金属氧化物材料都具有半导体性质,因为在导电方式上完全类似锗、硅等半导体材料。温度低时,这些氧化物材料的载流子(电子和空穴)数目少,所以其电阻值较高;随着温度的升高,载流子数目增加,所以电阻值降低。

常见的 NTC 热敏电阻器有圆形、垫圈形、管形等,如图 1-19 所示。

1) 负温度系数热敏电阻的主要参数

热敏电阻器的参数颇多,主要有标称阻值和额定功率。

标称阻值常在热敏电阻上标出。它是指在基准温度为 25℃ 时的零功率阻值,因此亦记作标称电阻值 R25。

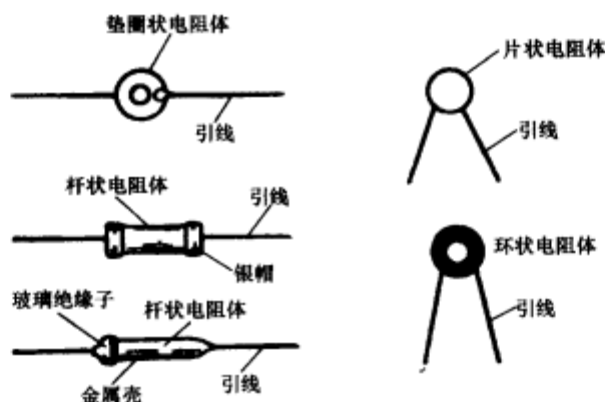


图 1-19 负温度系数热敏电阻外形

额定功率是指热敏电阻在环境温度为 25°C 、相对湿度为 $45\%\sim 80\%$ 条件下,长期连续工作所允许的耗散功率。

2) 负温度系数热敏电阻的简易测试方法

应用热敏电阻时,必须对它的几个重要参数进行测试。一般来说,热敏电阻对温度的敏感性高,所以不宜用万用表来测量它的阻值。这是因为万用表的工作电流比较大,流过热敏电阻器时会发热而使阻值改变。但对于确认热敏电阻能否工作,用万用表也可作简易判断。具体为:将万用表拨到欧姆挡(视标称电阻值定挡位),用鄂鱼夹代替表笔分别夹住热敏电阻器的两脚,记下此时的阻值;然后用手捏住热敏电阻器,观察万用表,会看到随着温度的慢慢升高,指针会慢慢向右移,表明电阻在逐渐减小,当减小到一定数值时,指针停了下来。若环境温度接近体温,用这种方法就不灵,这时可用电烙铁靠近热敏电阻器,同样也会看到表针慢慢右移。这样,则可证明这只负温度系数热敏电阻器是好的。

注意事项:用万用表检测负温度系数热敏电阻器时,请注意几点:

一是万用表内的电池必需是新换不久的,而且在测量前应调好欧姆零点。

二是由于普通万用表的电阻挡刻度是非线性的,为了减少误差,读数方法正确与否很重要,即读数时视线正对着表针。若表盘上有反射镜,眼睛看到的表针应与镜子里的影子重合。

三是热敏电阻上的标称阻值与万用表的读数不一定相等,这是由于标称阻值是用专用仪器在 25°C 的条件下测得的,而万用表测量时有一定的电流通过热敏电阻而产生热量,而且环境温度不可能正是 25°C ,所以不可避免地产生误差。那么,能否估算出一只热敏电阻器在某一温度时的阻值呢?回答是肯定的,方法也很简单:以 MF11 型负温度系数热敏电阻器为例,查资料可知它的电阻温度系数为 $-(2.23\sim 4.09)\%/^{\circ}\text{C}$ (其意是:以基准温度 25°C 为起点,温度每升高 1°C ,则该热敏电阻器的阻值便增加 $2.23\%\sim 4.09\%$)。为了简便,可将温度系数取为 $-3\%/^{\circ}\text{C}$,这样估算就十分方便了。在某一温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时热敏电阻所具有的电阻值,等于其前一温度的电阻值乘以系数 0.97 (即 $100\%-3\%=97\%=0.97$)。例如,某只 MF11 型负温度系数热敏电阻器在 25°C 的阻值为 250Ω ,那么在 26°C 时为 $250\Omega \times 0.97 = 242.5\Omega$ 。

3) 负温度系数热敏电阻的应用

NTC 元件在家用电器上应用是非常适宜的,如电视机、显示器、音响设备等。这些电

器内往往安装有大容量电解电容器作滤波或旁路用,因为在开机瞬间,电容器对电源几乎呈短路状态,其冲击电流很大,容易造成变压器、整流堆或保险管的过载。若在设备的整流输出端串接上 NTC 元件,如图 1-20 所示,这样在开机瞬间,电容器的充电电流便受到 NTC 元件的限制。在 14s~60s 之后,NTC 元件升温相对稳定,其上的分压也逐步降至零点几伏。这样小的压降,可视此种元件在完成软启动功能后为短接状态,不会影响电器的正常工作。

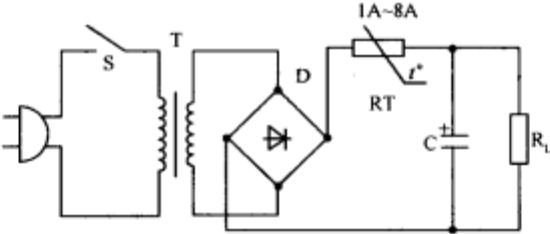


图 1-20 NTC 元件在家用电器上的应用

2. 正温度系数热敏电阻(PTC)

正温度系数热敏电阻的特征是,在工作温度范围内具有正的电阻温度系数。目前,PTC 热敏电阻器在国内外获得广泛应用。常见 PTC 热敏电阻器的外形有方形、圆片形、蜂窝形、口琴形、带形等。PTC 不仅用于测温、控温、保护电路中,还大量用于彩色电视机、显示器、电熨斗、电子驱蚊器等家用电器中。下面重点说明较为典型的正温度系数热敏电阻——消磁电阻。

1) 消磁电阻的应用

彩电、显示器中的消磁电阻是一种 PTC 热敏电阻,用于对显像管的消磁。其阻值能随温度升高而迅速增大。利用 PTC 热敏电阻作消磁元件,具有节能、安全、方便、低成本的特点。

我们知道,地磁和外界各种杂散磁场对彩色显像管有磁化作用,显像管的荫罩、栅网、防爆环、外屏蔽罩和固定件极易被磁化。磁化的结果将改变电子束轨迹,使显示器色纯不良,并引起会聚误差,有时甚至使屏幕上出现明显的色斑。为了克服地磁场、周围杂散磁场以及机内金属部件形成的磁场对显像管内电子束的影响,彩电、显示器都设有一套自动消磁电路。该电路在每次开机时产生一个由强变弱的交变磁场,对显像管金属部件进行消磁。

图 1-21 是国产 MZ72 系列产品外形及由它构成的彩电消磁电路。

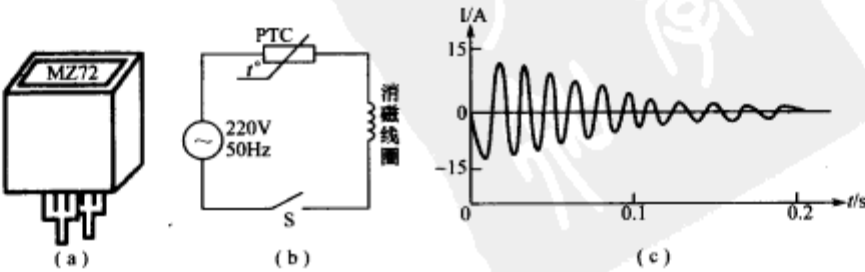


图 1-21 MZ72 的外形及消磁原理

将 PTC 消磁线圈串联后装在显像管防爆带附近,开机通过高达 20A 的起始电流而迅速发热,并使其自身阻值突变增高,30s 后的残余电流值降低至 10mA 以下,使消磁电路产生一个逐渐衰减的交变强磁场,达到消除荧屏剩磁的目的。

由于二端 PTC 的残余电流值很难达到更低,有时消磁效果不能令人满意,因此又发展到三端 PTC 消磁电阻。三端 PTC 是由两片性能不同的 PTC 瓷片紧靠在一起而组合构成,其消磁电路如图 1-22 所示。

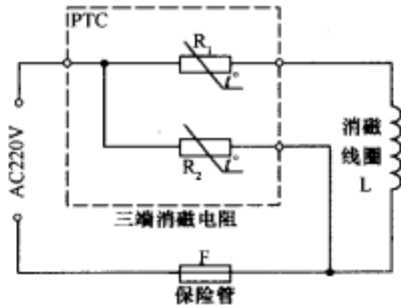


图 1-22 三端消磁电阻

三端消磁电阻中,两片 PTC 性能不同,其功能也各不相同。其中起消磁作用的 R_1 的特性与常用二端 PTC 完全相同;而 R_2 的额定零功率电阻值较大,一般为数百欧,其温度系数则较 R_1 要低得多,达到热稳定时的阻值也不过数千欧。 R_2 并联连接于交流电网中,主要是起辅助加热 R_1 的作用,使 R_1 温升更快,能大大缩短整个消磁周期;随后又辅助维持 R_1 的高阻,确保残余电流小而稳定。优质的三端 PTC 残余电流值可低至 1mA 以下,比二端 PTC 的消磁效果更理想,屏幕能获得进一步的净化。须强调指出的是,由于 R_1 与 R_2 的特性与作用不同,因此,在使用和代换三端 PTC 时不能不加分辨而随意乱接端子。否则后果难料,轻则消磁效果明显下降甚至起不到消磁作用,重则造成自身损坏失效或危及安全。另外,对于三端消磁电阻不能用两只二端 PTC 代换,因为从工作原理上讲,仅用两只二端 PTC 无论怎样连接也不能实现三端 PTC 的功能。更严重的是,二端 PTC 的额定零功率电阻值很低,两只 PTC 电阻同时由电网提供电流,开机瞬间的冲击电流会远远超过原设计消磁电路的起始电流值,常会熔断熔断丝。在三端 PTC 失效而一时难免直接代换件时,应急状态下的权宜之计是暂时用一只标称值相同的二端消磁电阻接入 R_1 位置,使机器先恢复使用。决不能将二端 PTC 接入 R_2 位置。

消磁电阻的常温阻值有 12 Ω 、18 Ω 、20 Ω 、27 Ω 、40 Ω 5 种,可供不同参数的消磁线圈配套使用。表 1-9 是彩电用消磁电阻的主要参数。

表 1-9 彩电用消磁电阻主要参数

型号	额定零功率电阻值 R_0/Ω	允许偏差/(%)	电流衰减特性		耐压/V
			起始电流/A	残留电流/mA	
MZ72_1	18	± 20	18~35	<18	428
MZ72_2	28	± 20	28~48	<18	428
MZ73_1	$R_1:12$ $R_2:188\sim988$	± 20	28~48	<5	358
MZ73_2	$R_1:28$ $R_2:188\sim988$	± 20	28~48	<4.5	428

(续)

型号	额定零功率电阻值 R_0/Ω	允许偏差/(%)	电流衰减特性		耐压/V
			起始电流/A	残留电流/mA	
MZ73_3	$R_1:18$ $R_2:188\sim988$	± 20	18~35	<4.5	428
MZ73_4	$R_1:27$ $R_2:188\sim988$	± 30	>15	<3.5	428
MZ73_5	$R_1:38$ $R_2:188\sim988$	± 30	>15	<3.5	428
MZ73_6	$R_1:36$ $R_2:188\sim988$	± 30	>15	<3.5	428
MZ73_7	$R_1:38$ $R_2:188\sim988$	± 30	>15	<3.5	428

2) 消磁电阻的检测方法

用万用表测量消磁电阻常温下的阻值,如果阻值过大或过小,表明该消磁电阻内部开路或短路,一旦上机便失去消磁功能,短路时还会导致显示器无光栅。通常,常温下测得的实际阻值与标称阻值相差 2Ω 以内为正常,若小于 8Ω 或大于 50Ω 时,可视为性能不良。

在机检测消磁电阻时,必须拔下印制板上的消磁线圈插头。切断消磁线圈与消磁电阻之间的连线,并待电阻冷却后进行检测。测量时,用电烙铁烘烤消磁电阻,如果能看到阻值随加热而增大。说明电阻基本正常,可上机使用。

3) 消磁电阻的代换

三端消磁电阻损坏后,用同规格代换,应分清引脚,一一对应接入电路。如果用二端消磁电阻代换,需将二端消磁电阻器串入消磁线圈电路中。用三端消磁电阻代替二端消磁电阻时,可只将阻值较小的电阻两脚代替原消磁电阻,另一脚悬空,也可将另一脚再接入 220V 电源,减小稳定电流值。实践中,当消磁电阻与原阻值的差别在 $3\Omega\sim4\Omega$ 时,均可互换使用,不影响消磁功能。

四、压敏电阻(VSR)

1. 压敏电阻的特性

压敏电阻简称 VSR,是一种非线性电阻元件,它的阻值与两端施加的电压值大小有关,当两端电压大于一定的值(压敏电压值)时,压敏电阻器的阻值急剧减小,当压敏电阻器两端的电压恢复正常时,压敏电阻的阻值也恢复正常。因为压敏电阻具有这种特性,常被用于家用电器的市电进线端起过压保护作用。

压敏电阻的外形及电路符号如图 1-23 所示。

2. 压敏电阻器的检测

将压敏电阻从电路中取下,用指针式万用表的 $R\times 10k(10.5V)$ 挡测量压敏电阻两端的阻值,应为 ∞ ;若表针有偏转,则是压敏电阻漏电流大、质量差,应予更换。若压敏器件选用不当、器件老化,或遇到异常高压脉冲(如雷击和过高电压输入)时,也会失效乃至损坏,严重时器件外表发黑或开裂。压敏器件损坏后,应尽可能选用与原型号规格相同的更换件。

3. 压敏电阻的应用

与其他过压保护器件相比,压敏电阻具有耐浪涌电流大、非线性系数大、抑制过电压能力强、响应速度快、漏电流小、特性曲线对称、温度特性好、使用电压范围宽等突出特点。而且压敏电阻的体积小、可靠性高、价格低廉。因此,被广泛应用于各种电子电路中作保护器件。

图 1-24 是一般黑白和彩色电视机中接有压敏电阻的电源输入部分。当由雷电或由机内自感电势等引起的过电压作用到压敏电阻两端时,压敏电阻立即导通,将过电压泄放掉,从而保护了电源变压器和其他元器件不被损坏。

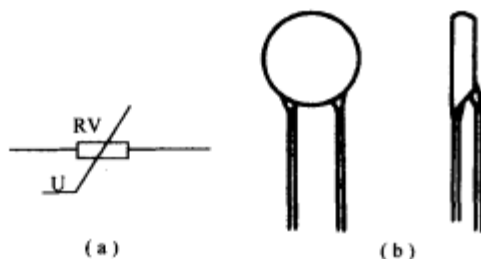


图 1-23 压敏电阻的外形及电路符号

(a) 电路符号; (b) 外形。

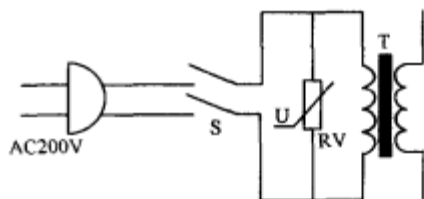


图 1-24 压敏电阻在电视机电源电路中的应用

4. 压敏电阻的检测

用万用表的 $R \times 1k$ 挡测量压敏电阻两引脚之间的正、反向绝缘电阻,均应为无穷大,否则,说明漏电流大。若所测电阻很小,说明压敏电阻已损坏,不能使用。

五、光敏电阻

1. 光敏电阻的特性

光敏电阻是应用半导体光电效应原理制成的一种元件,其特点是光敏电阻对光线非常敏感,无光线照射时,光敏电阻呈高阻状态,当有光线照射时,电阻迅速减小。光敏电阻的外形及符号如图 1-25 所示。

2. 光敏电阻的检测

利用交流调压器来改变灯泡的照度,同时用指针式万用表检测光敏电阻的阻值,会看到指针随照度的变化而摆动。否则可判光敏电阻失效。如图 1-26 所示。

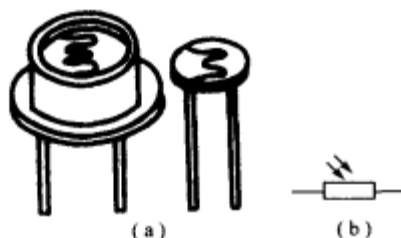


图 1-25 光敏电阻的外形及符号

(a) 外形; (b) 电路符号。

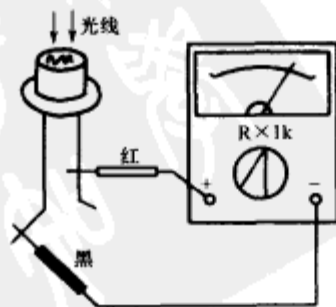


图 1-26 光敏电阻的检测方法

六、排电阻

排电阻也叫集成电阻,其外形及内部结构如图 1-27 所示。



图 1-27 排电阻的外形及内部结构

图中 BX 表示产品型号,10 表示有效数字,3 表示有效数字后边加“0”的个数,103 即 10000Ω ($10k\Omega$)。后面的 9 表示此电阻有 9 个引脚,其中的一个引脚是公共引脚;一般都在两边,用色点标志。

排电阻适合多个电阻阻值相同,而且其中的一个引脚都连在电路的同一位置的场合。排电阻比分立电阻体积小,安装方便,但价格也稍贵。

第二章 电容器的识别与检测

电容器简称电容,是最常见的电子元器件之一,顾名思义,电容器就是“储存电荷的容器”,故电容器具有储存一定电荷的能力。尽管电容器品种繁多,但它们的基本结构和原理是相同的。两片相距很近的金属中间被绝缘物质(固体、气体或液体)所隔开,就构成了电容器。两片金属称为极板,中间的绝缘物质叫做介质。电容器只能通过交流电而不能通过直流电,因此常用于振荡电路、调谐电路、滤波电路、旁路电路和耦合电路中。本章主要介绍典型电容器的识别与检测方法和技巧。

第一节 电容器的识别与检测

一、电容器的定义与分类

1. 电容器的定义

电容器是电气设备中的一种重要元件,在电子技术和电工技术中有很重要的应用。在两个平行金属板中间夹上一层绝缘物质(也叫电介质),就组成一个最简单的电容器,叫做平行板电容器。这两个金属板叫做电容器的两个极。

电容器可以容纳电荷。使电容器带电叫做充电。充电时,把电容器的一个极板与电池组的正极相连,另一个极板与电池组的负极相连,两个极板就分别带上了等量的异种电荷。电容器的一个极板上所带电量的绝对值,叫做电容器所带的电量。充了电的电容器的两极板之间有电场。

使充电后的电容器失去电荷叫做放电。用一根导线把电容器的两极接通,两极上的电荷互相中和,电容器就不再带电,两极之间不再存在电场。

电容器带电的时候,它的两极之间产生电势差。实验表明,对任何一个电容器来说,两极间的电势差都随所带电量的增加而增加,且电量与电势差成正比,它们的比值是一个恒量。不同的电容器,这个比值一般是不同的。可见,这个比值表征了电容器的特性。电容器所带的电量 Q 跟它的两极间的电势差 U 的比值,叫做电容器的电容。如果用 C 表示电容,则有

$$C = \frac{Q}{U}$$

上式表示,电容在数值上等于使电容器两极间的电势差为 1V 时,电容器需要带的电量。这个电量大,电容器的电容大。可见,电容是表示电容器容纳电荷本领的物理量。

在国际单位制里,电容的单位是法拉,简称法,国际符号是 F。一个电容器,如果带 1C 的电量时两极间的电势差是 1V,这个电容器的电容就是 1F。法这个单位太大,实际

上常用较小的单位:微法(μF)、纳法(nF)和皮法(pF)。它们间的换算关系是

$$1\text{F}=10^6\mu\text{F}=10^9\text{nF}=10^{12}\text{pF}$$

2. 电容器的分类

电容器种类很多,按其是否有极性来分,可分为无极性电容器和有极性电容器两大类,它们在电路中的符号稍有差别。具体分类情况如图 2-1 所示。

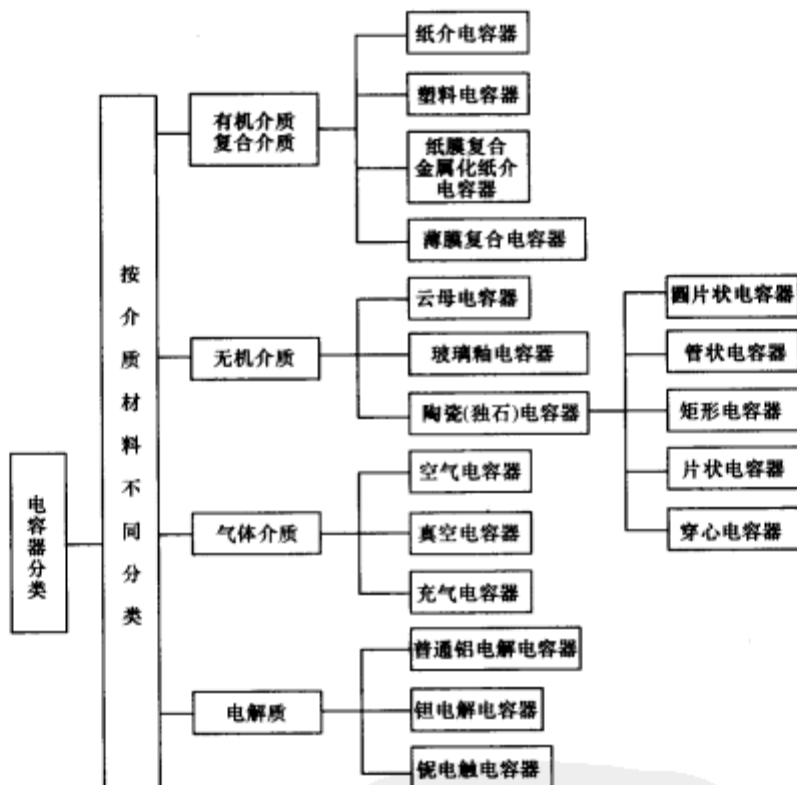


图 2-1 电容器的分类

常见无极性电容器有纸介电容器、油浸纸介密封电容器、金属化纸介电容器、云母电容器、有机薄膜电容器、玻璃釉电容器、陶瓷电容器等,它们的外形和符号如图 2-2 所示。

有极性电容器的内部构造比无极性电容器复杂。此类电容器如按正极材料不同,可分为铝电解电容器及钽(或铌)电解电容器,外形和符号如图 2-3 所示。

二、常见电容介绍

下面重点介绍几类应用最为广泛的电容器

1. 金属化纸介电容器

金属化纸介电容器是采用金属化薄膜卷绕,并用环氧树脂包封的一种电容器。按照采用的薄膜不同,金属化纸介电容器又有金属化聚酯薄膜电容器和金属化聚丙烯薄膜电容器之分。

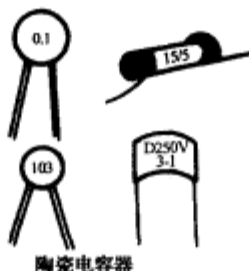
金属化聚酯薄膜电容器具有良好的自愈性,体积小,容量大,耐压高,可靠性好。适用于电子仪器、普通电源、点火器、节能灯、充电器、臭氧发生器、通信设备等各种直流脉动电路。



油浸纸介密封电容器



金属化纸介电容器



陶瓷电容器



工作电压



云母电容器



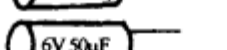
有机薄膜电容器



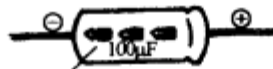
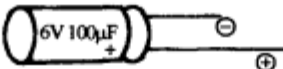
玻璃釉电容器



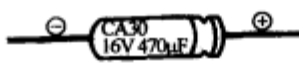
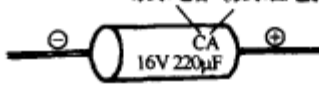
符号



正极标志



表示电容 (表示恒电解电容器)



新标准



(旧标准)

图 2-2 常用无极性电容器外形及符号

图 2-3 常用有极性电容器外形及符号

金属化聚丙烯薄膜电容器也被称为 CBB 电容器,这种电容器具有良好的自愈性,体积小,耐压高,容量大,损耗小,高频特性好,可靠性高。适用于汽车及摩托车点火器、充电器、控制器、电子式电度表、点钞机、验钞机、电子仪器、通信设备、开关电源、电子镇流器、中高档灯具、臭氧发生器等交直流脉动电路。金属化聚丙烯薄膜电容器可以代替大部分聚苯或云母电容器,用于要求较高的电路。

2. 瓷介电容器

瓷介电容器是一种用氧化钛、钛酸钡、钛酸锶等材料制成陶瓷,并以此作为介质构成的电容器,也被称为陶瓷电容器,由于这种电容器通常做成片状,故俗称瓷片电容。它被广泛用于各种电子设备。

依据瓷介电容器的特性,一般可分为三大类。

I类:温度补偿电容器。温度补偿电容器主要由电介质常数为 4~200 的钛酸盐介质组成,具有较低的介电常数,低损耗,高稳定性,电容量随温度变化近似线性。这种电容器主要使用于谐振回路或其他要求高 Q 值和高稳定性的 L 槽路电路。

II类:高介电常数电容器。高介电常数电容器主要以钛酸钡为基片制成。此类电容

器容量大,体积小,高阻抗,低损耗,在电路中作隔直流、旁路、耦合之用。

Ⅲ类:半导体电容器。半导体电容器是在钛酸钡内添加掺杂物,然后在基座上做成的一种用半导体当电介质的电容器。由于半导体电容器具有较高介电常数,故具有体积小、电容量的特点,适合作旁路和耦合电容器,或用在对损耗因数、绝缘电阻要求不高的电路中。

按照工作频率来分,瓷介电容可以分为高频瓷介电容(CC)和低频瓷介电容(CT)两大类。

高频瓷介电容(CC)的电容量通常为 $1\text{pF}\sim 6800\text{pF}$,额定电压为 $63\text{V}\sim 500\text{V}$,这种电容的高频损耗小,稳定性好,通常用于高频电路中。低频瓷介电容(CT)的电容量通常为 $10\text{pF}\sim 4.7\mu\text{F}$,额定电压为 $50\text{V}\sim 100\text{V}$,这种电容的体积小、价格廉、损耗大、稳定性差,通常用在对稳定性要求不高的低频电路中。

3. 铝电解电容器

铝电解电容器是以电解的方法形成的氧化膜作为介质的电容器,它以铝作为阳极,以乙二醇、丙三醇、硼酸和氨水等所组成的糊状物作为电解液而组成。

铝电解电容器的电容量通常为 $0.47\mu\text{F}\sim 10000\mu\text{F}$,额定电压为 $6.3\text{V}\sim 450\text{V}$ 。它是最常见的电容器,体积一般较大,且有极性。它的特点是容量大、价格低,但是容易受温度影响且准确度不高,随着使用时间的增长,铝电容会逐渐失效,故通常只应用在电源滤波、低频耦合、去耦、旁路等电路中。

铝电解电容器的型号一般是 CDXX,容量、耐压、正负极都标记在外壳上,通常电容外壳上在负极引出线一端画上一道黑色的标志圈,以防止接错极性。有时也用引线的长短来表示极性,长线为正,短线为负。

电解电容器一般有正、负极之分,即具有极性。因此在电路中使用时正、负极不能接错。现在已经可以制造无极性的或用于交流电路的电解电容器,称为双极性电解电容或无极性电解电容。

在外加电压的作用下,由于某种原因而引起局部损坏的器件,具有自行修补的作用,这种现象叫做电解电容的自愈。

4. 钽电解电容器

钽电解电容器(CA)简称钽电容,也属于电解电容的一种,由于使用金属钽(Ta)作介质,不需要像普通电解电容那样使用电解液。

另外,钽电解电容不需像普通电解电容那样使用镀了铝膜的电容纸烧制,所以本身几乎没有电感,但同时也限制了它的容量。此外,钽电解电容内部没有电解液,很适合在高温下工作。钽电解电容的特点是寿命长、耐高温、准确度高。

钽电解电容的电容量为 $0.1\mu\text{F}\sim 1000\mu\text{F}$,额定电压为 $6.3\text{V}\sim 125\text{V}$ 。钽电解电容的损耗、漏电流均小于铝电解电容,因此可以在要求高的电路中代替铝电解电容。

钽电解电容器的外壳上通常印有“CA”标记,但在电路中的符号与其他电解电容器符号一样。钽电解电容和铝电解电容相比有下述优点。

(1)体积小。由于钽电解电容采用了颗粒很细的钽粉,而且钽氧化膜的介电常数比铝氧化膜的介电常数高,因此钽电解电容的单位体积内的电容量大。

(2)使用湿度范围宽。一般钽电解电容器都能在一 $50^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的温度下正常工作,虽然铝电解电容也能在这个范围内工作,但电性能远远不如钽电解电容。

(3)寿命长、绝缘电阻高、漏电流小。钽电解电容器中钽氧化膜介质不仅耐腐蚀,而且长时间工作能保持良好的性能。

(4)阻抗频率特性好。对频率特性不好的电容器,工作频率高时电容量就大幅度下降,损耗也急剧上升。但固体电解电容器可工作在 50kHz 以上。钽电容随频率上升,也要出现容量下降现象,但下降幅度较小,有资料表明,工作在 10kHz 时钽电容容量下降不到 20%,而铝电解电容容量下降达 40%。

(5)可靠性高。钽氧化膜的化学性能稳定,又因钽阳极基体 Ta_2O_5 能耐强酸、强碱,所以它能使用固体或含酸的电阻率很低的液体电解质,这就使得钽电解电容的损耗要比铝电解电容的小,而且温度稳定性良好。

钽电容的特点是寿命长、耐高温、准确度高、高频性能好,不过容量较小、价格也比铝电解电容高,而且耐电压及电流能力相对较弱。

5. 云母电容器

云母是天然而具有很高电介质常数的电介质,采用云母制作的电容器具备优良的绝缘电阻、电介质损耗小、频率特性和温度特性好、温度系数小等优点。

云母电容器的电容量范围通常为 10pF~68000pF,额定电压为 100V~7kV。云母电容器(CY)主要应用在高频振荡、脉冲等要求较高的电路中。

6. 涤纶电容器

涤纶电容器通常采用聚酯膜、环氧树脂包封。电容量通常为 40pF~4μF,额定电压为 63V~630V。主要应用在对稳定性和损耗要求不高的低频电路中。

三、电容器的基本参数

电容器的基本参数主要有以下几种。

1. 电容器的容量

容量是电容的基本参数,数值标在电容上,不同类别的电容有不同系列的标称值。某些电容的体积较小,常常不标单位,只标数值。

和电阻一样,电容的标称值一般也采用 E24、E12 和 E6 系列进行生产,见表 2-1。

表 2-1 电容标称容量系列

系列	容差	标 称 值											
		1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
E24	±5%	1.1	1.3	1.6	2.0	2.4	3.0	3.6	4.3	5.1	6.2	7.5	9.1
E12	±10%	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
E6	±20%	1.0		1.5		2.2		3.3		4.7		6.8	

2. 容差(允许误差)

电容器的容差定义与电阻器的容差定义相同,其等级见表 2-2。

表 2-2 电容器容差等级

容差	±2%	±5%	±10%	±20%	+20% -30%	+50% -20%	+100% 10%
级别	02	I	II	III	IV	V	VI

3. 额定电压

电容的额定电压是指在规定温度下,能保证长期连续工作而不被击穿的电压。所有的电容都有额定电压参数,额定电压表示了电容两端所允许施加的最大电压。如果施加的电压大于额定电压值,将损坏电容。电容的额定电压系列随电容类别不同而有所区别,通常都在电容器上直接标出。

电容的额定电压通常是指直流工作电压,但也有少数品种标以交流额定电压,它们主要专用于交流电路或交流分量大的电路中。如果一般电容工作于脉动电压下,则交流分量通常不得超过直流电压的百分之几至百分之十几(应随交流分量频率的增高而相应递减),且交、直流分量的总和不得大于额定电压。所以工作在交流分量较大的电路(如整流滤波电路)中的电容,选取额定电压参数应适当放宽余量。

非电解电容的额定电压一般为几百伏,在电路图中没有标明,因为非电解电容的额定电压比实际电子电路的电源电压高很多。

电解电容的额定电压一般都会在电路中标明,如果没有指定,则需要选用额定电压高于电路工作电压的电容。注意,随着额定电压的增加,电容的价格也会升高。

4. 电容器的绝缘电阻与漏电流

当电容加上直流工作电压时,电容介质总会导电使电容有漏电流产生。若漏电流太大,电容就会发热损坏。除了电解电容外,一般电容只要质量好,其漏电流是极小的。故用绝缘电阻参数来表示其绝缘性能;而电解电容因漏电流较大,故用漏电流来表示其绝缘性能。电容的绝缘电阻及漏电流是重要的性能参数,在电路检修中应值得注意。

5. 电解电容的高频特性

电解电容的高频特性表现在以下方面:当电容两极加交变电压时,极性分子(电解质)会在电场力作用下随外电场方向不断转动,并按要求向另一极板准确传递所加的信号(电压)波形。由于电解质极性分子随外电场旋转的“同步灵敏度(严格地说是相对介电常数)”会随信号频率的升高而降低(即容量下降),当信号频率升至某一值时,极性分子会来不及旋转而干脆不动,从而使容量严重下降(相当于未加电解质),因此静态时所测的容量与在路工作时实际表现出的容量是不一样的。于是规定,在某一频率的正弦波电压下,电容器表现出的动态电容量与静态电容量(标称电容量)的比值称为该电容的高频特性值。另外,当电容经高温长期烘烤后也会导致其“同步灵敏度”大大下降,同时还会使经该电容器传递的信号波形发生畸变。正因为电容的这种高频特性,在一些工作频率较高的电路中,即使一个电容器的电容量、漏电符合要求,也不能替换使用,否则也会很快损坏。例如:出自彩电行输出变压器的180V视放滤波电容,以及高频开关电源中控制振荡频率的时钟控制电容等,都必须采用高频特性好、耐压高的电容。

6. 电容器的正切损耗

因电解质极性分子取向要随外电场方向不断转向,因而要克服极性分子的相互的引力而做功。同时电解质本身也有一定的漏电,这就使得电容器要损耗一定的功率。于是规定,在某一频率电压下,电容器的有功损耗功率与无功损耗功率的比值称为该电容的正切损耗角(记为 $\tan\delta = P/P_q = UI\sin\delta/UI\cos\delta$, 式中 P 为有功损耗功率, P_q 为无功损耗功率, U 为施加于电容的交流电压值)。各类电容都规定了某频率范围内的损耗因数允许值,或者说它们都有各自适应的工作频率范围。在正常情况下,该值小于0.01。当电

解电容经高温长期烘烤或密封被破坏后,其 $\tan\delta$ 会达到 0.2 以上。这种电容会严重破坏电路的工作性能,因此在检修和替换脉冲、交流、高频等电路中的某些电容时,损耗因数是个十分重要的参数。

电容器的高频特性和正切损耗用普通万用表是不能测量的。

7. 电容器的稳定度

电容器的主要参数受温度、湿度、气压、振动等外界环境的影响后会发生变化,变化大小用稳定性来衡量。云母及瓷介电容器稳定性最好,温度系数可达 $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 数量级;铝电解电容器温度系数最大,可达 $10^{-2}/^{\circ}\text{C}$ 。多数电容器的温度系数为正值,个别类型电容器的温度系数为负值,如瓷介电容器等。电容器介质的绝缘性能会随着湿度的增加而下降,使损耗增加。湿度对纸介电容器的影响较大,对瓷介电容器的影响较小。

四、电容器的型号与标志识别

1. 电容器的型号

国产电容器的标识通常由 4 部分组成。下面举一例说明各部分的含义,如图 2-4 所示。

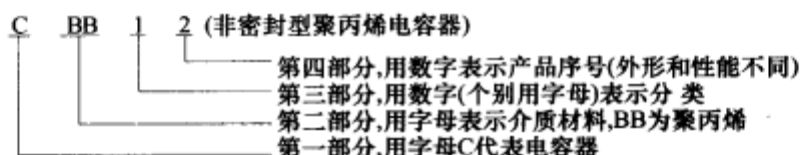


图 2-4 国产电容器的型号组成

第一部分 C 是没有变化的,第四部分可不必掌握,第二部分字母代表的意义见表 2-3,第三部分代表的意义见表 2-4。

表 2-3 第二部分字母表示意义

字母	电容介质材料	字母	电容介质材料
A	铝电解	L(1S 等)	聚酯等极性有机薄膜(常在 B 后再加一字母区分具体材料)
B(BB、BF)	聚苯乙烯等非极性薄膜(常在 B 后再加一字母区分具体材料)	N	钽电解
C	高频陶瓷	O	玻璃膜
D	铝电解(普通电解)	Q	漆膜
E	其他材料电解	S/T	低频陶瓷
G	合金电解	V/X	云母纸
H	纸膜复合	Y	云母
I	玻璃釉	Z	纸质
J	金属化纸介		

表 2-4 第三部分表示的意义

数字或字母	瓷介电容	云母电容	有机电容	电解电容
1	圆形	非密封	非密封	箔式
2	管形	非密封	非密封	箔式
3	叠形	密封	密封	烧结粉,非固体
4	独石	密封	密封	烧结粉,固体
5	穿心		穿心	
6	支柱形等			
7				无极性
8	高压	高压	高压	
9			特殊	特殊
G	高功率			
T	叠片式			
W	微调电容			

2. 电容器的标志识别

电容器的标志方法主要有以下几种。

1) 直接表示

直接表示法又称直标法,直标法主要用在体积较大的电容上,标注的内容有多有少,一般情况下,标称容量、额定电压及允许偏差这 3 项参数大都标出,当然,也有体积太小(如小容量瓷介电容等)的电容仅标注容量这一项,标注较齐的电容通常有标称容量、额定电压、允许偏差、电容型号、商标、工作温度及制造日期等,具体可参考表 2-4、表 2-5。

重点提示:1 万皮法以上用微法作单位,1 万皮法以下用皮法作单位,pF 为最小标注单位,在标注时常直接标出数值,而不写单位,电容标注中的小数点用 R 表示。如 470 就是 470pF,R56 μ F 就是 0.56 μ F。

2) 数码表示法

通常采用三位数码表示,前两位表示有效数字,第三位表示有效数字后零的个数,单位为 pF,如 201 表示为 200pF,第三位若是 9,则电容量是前两位有效数字乘以 10^{-1} ,如 229 表示 22×10^{-1} pF。

3) 字母表示法

这是国际电工委员会推荐标注的方法,使用的标注字母有 4 个,即 p、n、 μ 、m,分别表示 pF、nF、 μ F、mF,用 2 个~4 个数字和一个字母表示电容量,字母前为容量的整数,字母后为容量的小数。如 1p5、4 μ 7、3n9 分别表示 1.5pF、4.7 μ F、3.9nF。

4) 色环表示法

一般使用三环标注,见表 2-5。第一、二位色环表示电容量的有效数字,第三位色环表示后面零的个数,如电容色环为黄、紫、橙表示 47×10^3 pF=47000pF。

表 2-5 电容的色环表示

颜色	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑
有效数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
乘数	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^0

电容器的误差一般用字母表示。含义是: C 为 $\pm 0.25\text{pF}$, D 为 $\pm 0.5\text{pF}$, F 为 $\pm 1\%$, J 为 $\pm 5\%$, K 为 $\pm 10\%$, M 为 $\pm 20\%$ 。

电容的耐压有低压和中高压两种, 低压为 200V 以下, 一般有 16V 、 50V 、 100V 等, 中高压一般有 160V 、 200V 、 250V 、 400V 、 500V 、 1000V 等。

五、电容器的串联与并联

实际使用电容器时, 有时会遇到电容器的电容不够或耐压能力不够, 这就需把几个电容器连接起来使用, 连接的基本方法有串联和并联两种。

1. 电容器的串联

把几个电容器的极板首尾相接, 连成一串, 这就是电容器的串联。图 2-5 是 3 个电容器的串联。

接上电压为 U 的电源后, 两极分别带电 $+Q$ 和 $-Q$, 由于静电感应, 中间各极所带的电量也等于 $+Q$ 或 $-Q$, 所以串联时每个电容器带的电量都是 Q 。如果各个电容器的电容分别为 C_1 、 C_2 、 C_3 , 电压分别为 U_1 、 U_2 、 U_3 , 那么

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, U_2 = \frac{Q}{C_2}, U_3 = \frac{Q}{C_3}$$

总电压 U 等于各个电容器上的电压之和, 所以

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right)$$

设串联电容器的总电容为 C , 则 $U = \frac{Q}{C}$, 所以

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

这就是说, 串联电容器的总电容的倒数等于各个电容器的电容的倒数之和。电容器串联之后, 相当于增大了两极的距离, 因此总电容小于每个电容器的电容。

重点提示: 有极性电容器(主要指电解电容器)的串联电路有两种——顺串联电路和逆串联电路, 下面简要介绍。

(1) 有极性电容器顺串联电路如图 2-6 所示。电路中, C_1 和 C_2 均是有极性的电容器, C_1 的负极与 C_2 的正极相连, 这种串联方式称为顺串联电路。有极性电容器顺串联之后, 仍等效成一只只有极性的电容器 C , 其极性见图中所示, 即 C_1 的正极为正极, C_2 的负极为负极。

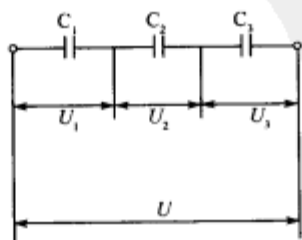


图 2-5 3 个电容的串联

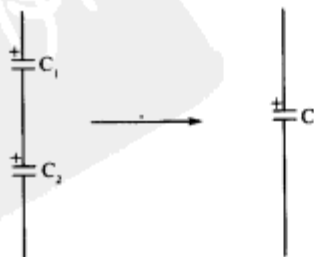


图 2-6 有极性电容器顺串联电路

在这种串联电路中,串联后等效电容器 C 的容量减小,总容量的倒数等于各电容的倒数之和。另外,这种串联电路可以提高电容器的耐压,即当 C_1 和 C_2 的容量和耐压均相等时,电容 C 的容量只有 C_1 和 C_2 的一半,但耐压比 C_1 或 C_2 的大一倍。有极性电解电容器的顺串联电路主要是可以提高电容器的耐压。

(2)有极性电容器逆串联电路如图 2-7 所示。这一串联电路有两种,一种是两个电容器的正极相连,如图(a)所示;另一种是两个电容器负极相连,如图(b)所示。

有极性电容器逆串联之后就没有了极性,见右边的等效电路, C 为逆串联后的等效电容。这样串联后的电容可以作为无极性电容器来使用,在一些分频电路中就常用这种电路,不过这样的无极性电容器没有真正的无极性电解电容器好。

如图 2-8 所示是实用的有极性电解电容器逆串联电路。电路中, C_2 和 C_3 逆串联后作为分频电容,在一些低档次的音响设备中会碰到这种电路。作为分频电容应该 是无极性的电容,因为分频电容工作在纯交流电路中,见 C_2 、 C_3 在电路中的位置,流过这两个电容的电流是很大的交流电流。由于交流电流的极性在不断改变,所以不能用有极性电容作为分频电容。在没有无极性的电解电容器时,可以用有极性的电解电容逆串联后代替。有极性电容器在电路中工作时,它的正极电压应该是始终高于负极电压,所以它不能用于纯交流电路中,这样分频电路中的电容器要用无极性电容器。综上所述,在电路中采用有极性电解电容器逆串联电路是为了获得无极性的电容。

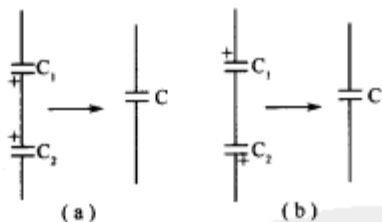


图 2-7 有极性电容器逆串联电路

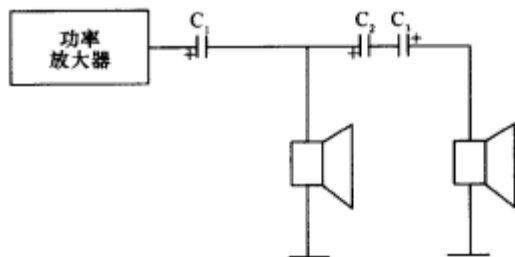


图 2-8 有极性电容器逆串联应用电路

2. 电容器的并联

把几个电容器的正极连在一起,负极也连在一起,这就是电容器的并联。图 2-9 是 3 个电容器的并联。

接上电压为 U 的电源后,每个电容器的电压都是 U 。如果各个电容器的电容分别为 C_1 、 C_2 、 C_3 ,所带电量分别为 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 ,那么

$$Q_1 = C_1 U, Q_2 = C_2 U, Q_3 = C_3 U$$

电容器组贮存的总电量 Q 等于各个电容器所带电量之和,所以

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = (C_1 + C_2 + C_3)U$$

设并联电容器的总电容为 C ,则 $Q = CU$,所以

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

这就是说,并联电容器的总电容等于各个电容器的电容之和。电容器并联之后,相当于增大了两极的面积,因此总电容大于每个电容器的电容。

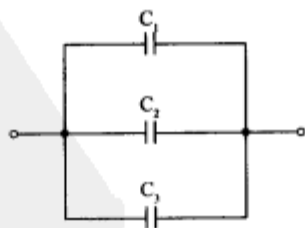


图 2-9 3 个电容的并联

电容器串联后,电容减小了,但耐压能力提高了,所以要承受较高的电压,可以把电容器串联起来;电容器并联后,电容增大了,耐压能力没有提高,所以在需要大电容时,可以把电容器并联起来。

重点提示:电路中,两个电容器甚至更多个电容并联的情况很多,归纳起来主要有以下几种情况。

(1)一大一小电容并联。一个容量很大的电容(如电解电容器)与一个容量很小的电容(如瓷片电容器)并联,如图 2-10 所示。电路中, C_1 是一个大容量滤波电容。 C_2 是一个小电容,为高频滤波电容。这种一大一小电容相并联的电路在电源电路中十分常见。

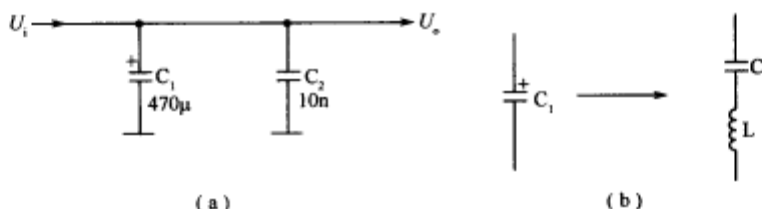


图 2-10 一大一小电容并联

从理论上讲,在同一频率下,容量大的电容其容抗小,这样一大一小电容并联后,容量小的电容 C_2 不起作用。但由图 2-10(b) 电解电容器的等效电路可知,大容量的电容器除容量大外,由于其结构的原因,还具有感抗特性,根据电感的有关特性可知,感抗与频率成正比。这样,大电容工作在高频状态下时,虽然纯电容容抗几乎为零,但感抗却很大,容抗与感抗串联,由串联电路可知此时总的阻抗仍然很大,且呈感抗的特性。这样,大电容在高频情况下阻抗反而大于低频时的阻抗。

为了补偿大电容的不足,再并一个小电容 C_2 。由于小电容的容量小,在制造时可以克服电感特性,所以小电容几乎不存在电感。当电路的工作频率高时,虽然小电容的容量小,但由于工作频率高,小电容的容抗也已经很小,这样高频的干扰信号通过小电容 C_2 滤波到地。

在一大一小电容相并联的电路中,当电路的工作频率较低时,小电容 C_2 不工作(因小电容的容抗大而呈开路状态),此时主要是大电容 C_1 在工作。当工作频率高时,大电容 C_1 处于开路状态而不工作,小电容 C_2 的容抗远小于 C_1 的阻抗而处于工作状态,用于滤除各种高频干扰信号。这就是为什么在电源电路中大电容出现时,总是并联着一个小电容的原因。

(2)两个大电容并联电路。采用两只相同容量的大电容并联主要是出于下列几个目的:

一是提高电路工作的可靠性,有一个电容开路后,另一个电容仍然能够使电路工作,这样可降低电路的故障发生率。

二是为了减小电容器的体积。一个容量大一倍的电容其体积要大出许多,由于机器内部空间的限制只能装体积小的电容,但容量又不够,此时可用两个容量较小电容相并联。

三是为了减小电容器漏电流。一个容量大一倍的电容其漏电流要大出许多,此时可用两个容量较小的电容并联,并联后的总漏电流比用一个大电容的漏电流要小。

四是为了加大容量,在采用一个大电容后的电路效果还不够理想时,再用一个大电容相并联。

(3)两个小电容并联电路。如图 2-11 所示是两个相等的小电容并联电路,在这种并联电路中, C_1 一般采用聚酯电容,属正温度系数电容, C_2 一般采用电聚丙烯电容,属负温度系数电容。

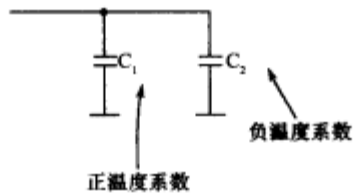


图 2-11 两个小电容并联

正温度系数的电容的特性是,当温度升高时其容量增大,当温度下降时其容量减小。负温度系数的电容的特性是,当温度升高时其容量减小,当温度下降时其容量增大。因此,若电路要求电容的容量非常稳定时,可采用正、负温度系数的电容并联接法。这种接法的总电容不受温度影响,因为当工作温度升高时, C_1 的容量在增大,而 C_2 的容量则在减小,可见,两电容并联的总电容 $C = C_1 + C_2$ 基本不变。同理,在温度降低时,一个电容的容量在减小而另一个在增大,总的容量也基本不变,达到稳定总电容的目的。

六、电容器的作用与选用

1. 电容器的作用

电容器的主要作用是隔直通交,因此,可应用于交流耦合、隔离直流、滤波、交流或脉冲旁路、RC 定时、LC 谐振选频等电路。

2. 电容器的选用

对于要求不高的低频电路和直流电路,通常可用价格较低的纸介或金属化纸介电容,也可选低频瓷介(CT 型)电容。要求较高的中高频、声频电路,可选用塑料薄膜(CB、CL 型)电容;高频电路中一般选用高频瓷介(CC 型)、云母或穿心瓷介电容。电源滤波、退耦、旁路等电路中需用大容量电容的,一般可用铝电解电容。钽(铌)电解电容的性能稳定可靠,但价格高,通常仅用于要求较高的定时、延时等电路中。对于彩电行输出级和电源级等处的高压电路,一般应选用高压瓷介或其他专用高压型电容。在电风扇的交流电路中,通常应选专用交流电容,这类电容个头较大,无极性,耐压 450V~500V。而在功率较大的单相电极电路中,常选用大容量、耐高压的铝电解电容作为启动或移相电容。

有些电路对电解电容有特殊要求,需要一些低损耗电解电容,选用时可参考表 2-6。

表 2-6 一些特殊的电解电容

国产电容	特点	进口电容	特点
CD11D	低漏电	BP	双极性
CD11W	低介质损耗	C	低介质损耗
CD11Z	高纹波	EU	低阻抗、高稳定
CD71	双极性	H	高纹波
CD72	音频	HF	低阻抗开关
CD117	低介质损耗	LL	低漏电
CD292	高纹波	SH	低介质损耗、高频
CD293	高纹波	ST	低介质损耗

七、电容器的检测与代换

1. 无极性电容的检测

1) 检测 10pF 以下的小电容

指针万用表测量:因 10pF 以下的固定电容器容量太小,用指针万用表进行测量,只能定性的检查其是否有漏电、内部短路或击穿现象。测量时,可选用万用表 $R \times 10\text{k}$ 挡,用两表笔分别任意接电容的两个引脚,阻值应为无穷大。若测出阻值(指针向右摆动)或阻值为零,则说明电容漏电损坏或内部击穿。

数字万用表测量: 10pF 以下的固定电容器,可用数字万用表测量其容量,只需将电容的两脚插入数字万用表的 C_x 插座内,将数字万用表置于相应的挡位即可。

2) 检测 $10\text{pF} \sim 0.01\mu\text{F}$ 的电容

指针万用表测量:首先用万用表 $R \times 10\text{k}$ 挡测试一下电容有无短路漏电现象,在确认电容无内部短路或漏电后,采用图 2-12 所示的电路可测出 $10\text{pF} \sim 0.01\mu\text{F}$ 固定电容器是否有充电现象,进而判断其好坏。

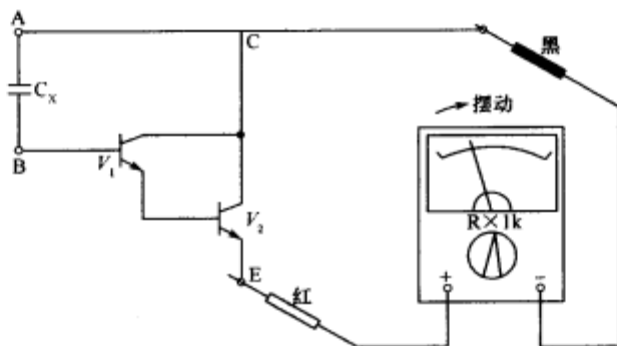


图 2-12 检测 $10\text{pF} \sim 0.01\mu\text{F}$ 电容的方法

万用表选用 $R \times 1\text{k}$ 挡,红和黑表笔分别与复合管的发射极 E 和集电极 C 相接。 C_x 为被测电容。由于复合三极管的放大作用,把被测电容的充放电过程予以放大,使万用表指针摆动幅度加大,从而便于观察。应注意的是,在测试操作时,特别是在测较小容量的电容时,要反复调换被测电容引脚接触 A、B 两点,才能明显地看到万用表指针的摆动。

用数字万用表检测时,可将电容的两脚插入数字万用表的 C_x 插座内,将数字万用表置于相应的挡位即可。

3) 检测 $0.01\mu\text{F}$ 以上的电容器

指针万用表测量:对于 $0.01\mu\text{F}$ 以上的电容,可用万用表的 $R \times 10\text{k}$ 挡直接测试电容器有无充电过程以及有无内部短路或漏电,并可根据指针向右摆动的幅度大小估计出电容器的容量。测试操作时,先用两表笔任意触碰电容的两引脚,然后调换表笔再触碰一次,如果电容是好的,万用表指针会向右摆动一下,随即向左迅速返回无穷大位置。电容量越大,指针摆动幅度越大。如果反复调换表笔触碰电容两引脚,万用表指针始终不向右摆动,说明该电容的容量已低于 $0.01\mu\text{F}$ 或者已经消失。测量中,若指针向右摆动后不能再向左回到无穷大位置,说明电容漏电或已经击穿短路。

测试时要注意,为了观察到指针向右摆动的情况,应反复调换表笔触碰电容器两引脚

进行测量,直到确认电容有无充电现象为止。

在采用上述三种方法进行测试时,都应注意正确操作,不要用手指同时接触被测电容的两个引脚。否则,人体电阻将影响测试的准确性,容易造成误判。特别是使用万用表的高阻挡($R \times 10k$)进行测量时,若手指同时触到电容两引脚或两表笔的金属部分,将使指针回不到无穷大的位置,给测试者造成错觉,误认为被测电容漏电。

数字万用表测量:将电容的两脚插入数字万用表的 C_x 插座内,将数字万用表置于相应的挡位即可。

2. 电解电容的检测

电解电容既可以用数字万用表测量,也可能用指针万用表测量,用数字万用表测量电解电容时,只需将电容的两脚插入数字万用表的 C_x 插座内,将数字万用表置于相应的挡位即可。由于数字万用表电容测量挡量程有限,一般最大只能测量 $20\mu F$,因此,数字万用表只能对部分电解电容进行测量。下面重点说明用指针万用表测量电解电容的方法和技巧。

(1) 挡位的选择

电解电容的容量较一般无极性电容大得多,所以,测量时,应针对不同容量选用合适的量程。根据经验,一般情况下, $1\mu F \sim 47\mu F$ 的电容,可用 $R \times 1k$ 挡测量,大于 $47\mu F$ 的电容可用 $R \times 100$ 挡测量。

(2) 测量漏电阻

将万用表红表笔接电解电容的负极,黑表笔接正极,在刚接触的瞬间,万用表指针即向右偏转较大幅度(对于同一电阻挡,容量越大,摆幅越大),接着逐渐向左回转,直到停在某一位置。此时的阻值便是电解电容的正向漏电阻。此值越大,说明漏电流越小,电容性能越好。然后,将红、黑表笔对调,万用表指针将重复上述摆动现象。但此时所测阻值为电解电容的反向漏电阻,此值略小于正向漏电阻。即反向漏电流比正向漏电流要大。实际使用经验表明,电解电容的漏电阻一般应在几百 $k\Omega$ 以上,否则,将不能正常工作。在测试中,若正向、反向均无充电的现象,即表针不动,则说明容量消失或内部断路;如果所测阻值很小或为零,说明电容漏电大或已被击穿损坏,不能再使用。

(3) 极性判别

对于正、负极标志不明的电解电容器,可利用上述测量漏电阻的方法加以判别。即先任意测一下漏电阻,记住其大小,然后交换表笔再测出一个阻值。两次测量中阻值大的那一次便是正向接法,即黑表笔接的是正极,红表笔接的是负极。

(4) 检测大容量电解电容器的漏电阻

用万用表检测电解电容器的漏电阻,是利用表内的电池给电解电容充电的原理进行的。一旦将万用表电阻挡位确定下来,充电的时间长短便取决于电容的容量大小。对于同一电阻挡而言,容量越大,充电时间越长,例如,选用 $R \times 1k$ 挡测量一只 $4700\mu F$ 的电解电容,待其充完电显示出漏电阻,约需 $10min$ 左右,显然时间过长,不太实用。但是,万用表的不同电阻挡的内阻是不一样的。电阻挡位越高,内阻越大;电阻挡位越低,内阻越小。一般万用表的 $R \times 1$ 挡的内阻仅是 $R \times 10k$ 挡的千分之一。利用万用表这一特点,采用变换电阻挡位的方法,是可以比较快速地将大容量电解电容器的漏电阻测出的。

具体操作方法是:先使用 $R \times 10$ 或 $R \times 1$ 低阻挡(视容量而定)进行测量,使电容器很快充足电,指针迅速向左回旋到无穷大位置。这时再拨到 $R \times 1k$ 挡,若指针停在无穷大

处,说明漏电阻极小,用 $R \times 1k$ 挡已经测不出来,若指针又缓慢向右摆动,最后停在某一刻度上,此时的读数即是被测电解电容的漏电阻值。通常 $10000\mu F$ 以上大容量电解电容器的漏电阻在 $100k\Omega$ 左右是基本正常的。

现举一测量实例:测量一只 $22000\mu F$ 的超大容量电解电容器。先将万用表置于 $R \times 1$ 挡,红表笔接负极,黑表笔接正极,指针先向右摆动一角度后,很快就逐渐向左回转到无穷大位置,此时再将万用表拨至 $R \times 1k$ 挡,指针随即又缓缓向右偏转,最后停在 $120k\Omega$ 的位置。整个测试操作过程仅用 $30s$ 即完成。如果只用 $R \times 1k$ 挡进行测量,将会使测量时间延长至 $40min$ 左右。

(5) 电解电容漏电流的测量

测量电解电容漏电流需要一只稳压电源和一只万用表,下面以测量 $47\mu F/25V$ 电解电容为例进行说明:按图 2-13 进行连接。

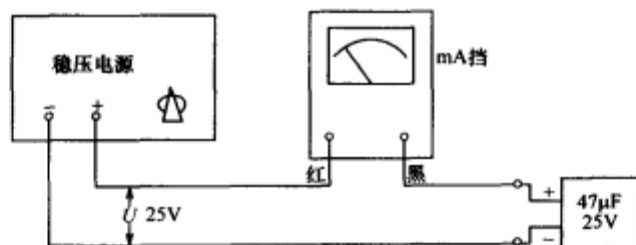


图 2-13 电解电容漏电流测量图

先用 $500mA$ 挡给电容充电,表头指示值小于 $5mA$ 时换成 $5mA$ 挡,再依次换成 $0.05mA$ 挡,观察表头指示小于 $10\mu A$ 时,说明该电容性能良好,可上机试用,否则,说明该电容不良。

3. 电容器的代换

电容器代换时要注意以下几点:

- (1) 所代换的电容耐压不能低于原电容的耐压值。
- (2) 无极性电容、单极性和双极性的电容不能混用。特别是一些双极性电解电容,能耐受高压、大电流,因此不能用单极性的电解电容进行代换。另外,一些有极性的钽电容,外观很像瓷片电容,要注意区分。
- (3) 在修理中,若发现某一电容变值或损坏,手头又没有同规格电容更换,可采用串、并联电容的方法进行应急处理。

电容器并联时,每个电容器所承受的工作电压相等,并等于总电压,因此,如果工作电压不同的几只电容器并联,必须把其中最低的工作电压作为并联后的工作电压。

串联后电容的工作电压在电容量相等的条件下,等于每个电容的工作电压之和,故串联后的电容工作电压升高。

第二节 可变电容器的识别与检测

一、可变电容器的种类及特点

可变电容器种类很多,常见的几种为单联可变电容器、双联可变电容器和微调可变电

容器。

1. 单联可变电容器

单联可变电容器由一组动片和一组定片以及旋轴等组成,如图 2-14 所示。

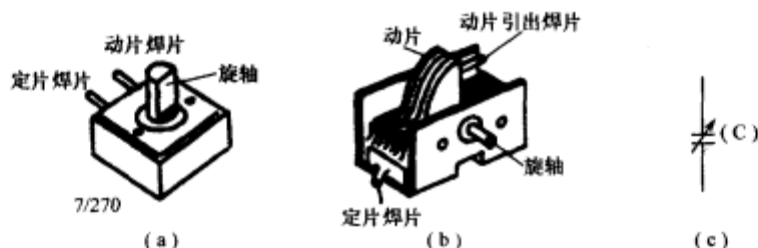


图 2-14 单联可变电容器外形和符号

(a) 密封单联; (b) 空气单联; (c) 电路符号。

图 2-14(a)所示单联选用薄膜作为介质,并用外壳把动片组和定片组密封起来,因此称密封单联。当转动旋轴时,改变了动片与定片的相对位置,即可调整电容量,当动片组全部旋出,此联电容器容量最小。图(b)所示单联可变电容器用空气作为介质,因此称空气单联。在电路图中,单联电容器符号如图(c)所示。

2. 双联可变电容器

常见双联可变电容器如图 2-15 所示。

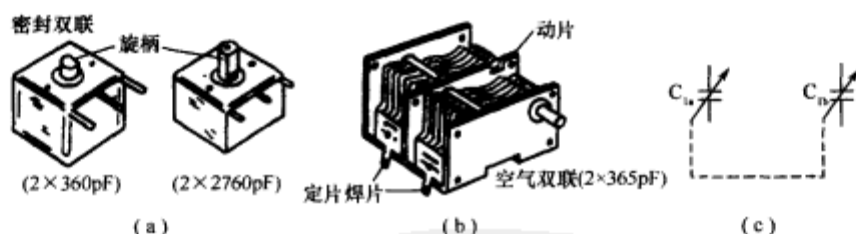


图 2-15 常见双联可变电容器

(a) 密封双联; (b) 空气双联; (c) 电路符号。

双联可变电容器由两组动片和两组定片以及转轴等组成。由于双联可变电容器的动片安装在同一根转轴上,当旋动转轴时,两联动片组同步转动(转动角度相同),这种同步特性在电路符号中用虚线连接箭头来表示。

3. 微调电容器

常见微调电容器如图 2-16 所示。



图 2-16 常见微调电容器

(a) 瓷介质微调电容器; (b) 有机薄膜介质微调电容器; (c) 拉线微调电容器; (d) 电路符号。

微调电容器的容量较小,调整范围也较小。因此在电路符号中用一个平箭头来表示。

二、可变电容器检测

1. 检查转轴机械性能

用手轻轻旋动转轴,应感觉十分平滑,不应感觉有时松时紧甚至有卡滞现象。将转轴向前、后、上、下、左、右等各个方向推动时,转轴不应有松动的现象。

2. 检查转轴与动片连接是否良好可靠

用一只手旋动转轴,另一只手轻摸动片组的外缘,不应感觉有任何松脱现象。转轴与动片之间接触不良的可变电容器,是不能再继续使用的。

3. 检查动片与定片间有无碰片短路或漏电

将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,一只手将两个表笔分别接可变电容器的动片和定片的引出端,另一只手将转轴缓缓旋动几个来回,万用表指针都应在无穷大位置不动。在旋动转轴的过程中,如果指针有时指向零,说明动片和定片之间存在碰片短路点;如果旋到某一角度,万用表读数不为无穷大而是出现一定阻值,说明可变电容器动片与定片之间存在漏电现象。对于双联或多联可变电容器,可用上述同样的方法检测其他组动片与定片之间有无碰片短路或漏电现象。

第三节 电磁干扰滤波电容器使用方法

利用电容滤除电路上的高频干扰和对电源退耦是电子爱好者都熟悉的。但是,随着电磁干扰问题的日益突出,特别是干扰频率的日益提高,由于不了解电容的基本特性而达不到预期滤波效果的事情时有发生。下面介绍一些容易被忽略的影响电容滤波性能的参数及使用电容器抑制电磁干扰时需要注意的事项。

一、电容引线的作用

在用电容抑制电磁干扰时,最容易忽视的问题就是电容引线对滤波效果的影响。电容器的容抗与频率成反比(容抗 $x_L = \frac{1}{2\pi fC}$),正是利用这一特性,将电容并联在信号线与地线之间起到对高频噪声的旁路作用。然而,在实际工程中,很多人发现这种方法并不能起到预期滤除噪声的效果,面对顽固的电磁噪声束手无策。出现这种情况的一个原因是忽略了电容引线对旁路效果的影响。

实际电容器的电路模型如图 2-17 所示,它是由等效电感(ESL)、电容和等效电阻(ESR)构成的串联网路。



图 2-17 实际电容器模型

理想电容的阻抗是随着频率的升高而降低,而实际电容的阻抗是图中所示的网络的阻抗特性,在频率较低的时候,呈现电容特性,即阻抗随频率的增加而降低,在某一点发生

谐振,在这点电容的阻抗等于等效串联电阻 ESR。在谐振点以上,由于 ESL 的作用,电容阻抗随着频率的升高而增加,这是电容呈现电感的阻抗特性。在谐振点以上,由于电容的阻抗增加,因此对高频噪声的旁路作用减弱,甚至消失。

电容的谐振频率由 ESL 和 C 共同决定($f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$),电容值或电感值越大,则谐振频率越低,也就是电容的高频滤波效果越差。ESL 除了与电容器的种类有关外,电容的引线长度是一个十分重要的参数,引线越长,则电感越大,电容的谐振频率越低。因此在实际工程中,要使电容器的引线尽量短,电容器的正确安装方法和不正确安装方法如图 2-18 所示。

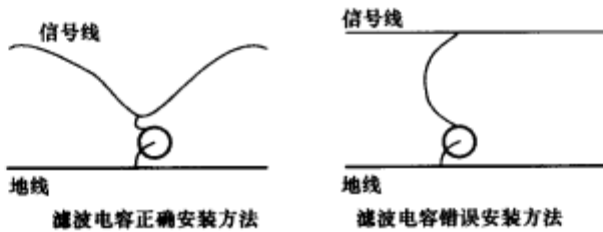


图 2-18 电容器的正确安装方法和不正确安装方法

根据 LC 电路串联谐振的原理,谐振点不仅与电感有关,还与电容值有关,电容越大,谐振点越低。许多人认为电容器的容值越大,滤波效果越好,这是一种误解。电容越大对低频干扰的旁路效果虽然好,但是由于电容在较低的频率发生了谐振,阻抗开始随频率的升高而增加,因此对高频噪声的旁路效果变差。表 2-7 是不同容量瓷片电容器的自谐振频率,电容的引线长度是 1.6mm(你使用的电容的引线有这么短吗)。

表 2-7 不同容量瓷片电容器的自谐振频率

电 容 值	自谐振频率/MHz	电 容 值	自谐振频率/MHz
1mF	1.7	820pF	38.5
0.1mF	4	680pF	42.5
0.01mF	12.6	560pF	45
3300pF	19.3	470pF	49
1800pF	25.5	390pF	54
1100pF	33	330pF	60

尽管从滤除高频噪声的角度看,电容的谐振是不希望的,但是电容的谐振并不总是有害的。当要滤除的噪声频率确定时,可以通过调整电容的容量,使谐振点刚好落在干扰频率上。

二、温度的影响

由于电容器中的介质参数受到温度变化的影响,因此电容器的电容值也随着温度变化。不同的介质随着温度变化的规律不同,有些电容器的容量当温度升高时会减小 70% 以上,常用的滤波电容器为瓷介质电容器,瓷介质电容器有超稳定型(COG 或 NPO)、稳定型(X7R)和通用型(Y5V 或 Z5U)三种。不同介质电容器的温度特性如图 2-19 所示。

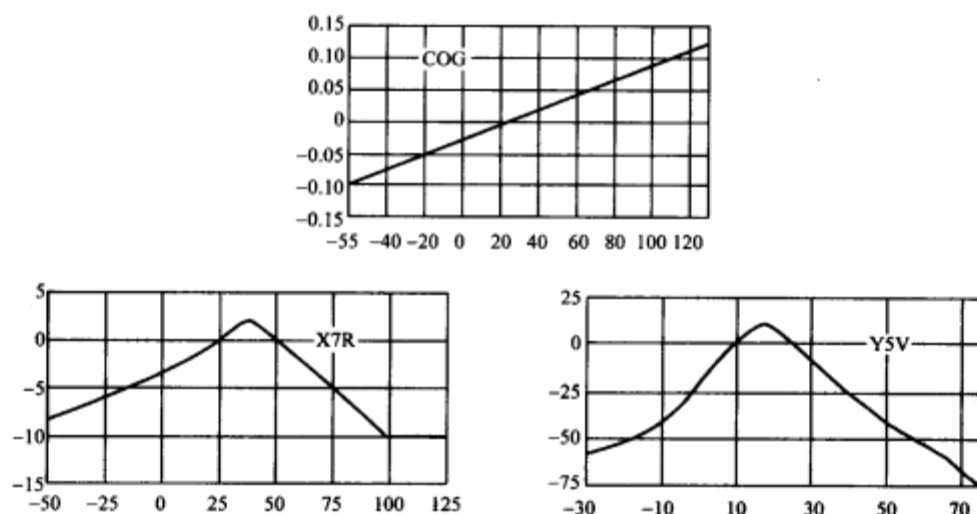


图 2-19 不同介质电容器的温度特性

从图 2-19 中可以看到,COG 电容器的容量几乎随温度没有变化,X7R 电容器的容量在额定工作温度范围变化 12% 以下,Y5V 电容器的容量在额定工作温度范围内变化 70% 以上。这些特性是必须注意的,否则会出现滤波器在高温或低温时性能变化而导致设备产生电磁兼容问题。

COG 介质虽然稳定,但介质常数较低,一般在 10~100,因此当体积较小时,容量较小。X7R 的介质常数高得多,为 2000~4000,因此较小的体积能产生较大的电容,Y5V 的介质常数最高,为 5000~25000。

许多人在选用电容器时,片面追求电容器的体积小,这种电容器的介质虽然具有较高的介质常数,但温度稳定性很差,这会导致设备的温度特性变差。这在选用电容器时要特别注意,尤其是在军用设备中。

三、电压的影响

电容器的电容量不仅随着温度变化,还会随着工作电压变化,这一点在实际工程中必须注意。不同介质材料的电容器的电压特性相差很大,经测试,X7R 电容器在额定电压状态下,其容量降为原始值的 70%,而 Y5V 电容器的容量降为原始值的 30%! 了解了这个特性,在选用电容时要在电压或电容量上留出余量,否则在额定工作电压状态下,滤波器会达不到预期的效果。

四、穿心电容的使用

在实际工程中,要滤除的电磁噪声频率往往高达数百兆赫,甚至超过 1GHz。对这样高频的电磁噪声,必须使用穿心电容才能有效地滤除。普通电容之所以不能有效地滤除高频噪声,是因为两个原因:一个原因是电容引线电感造成电容谐振,对高频信号呈现较大的阻抗,削弱了对高频信号的旁路作用;另一个原因是导线之间的寄生电容使高频信号发生耦合,降低了滤波效果,如图 2-20 所示。

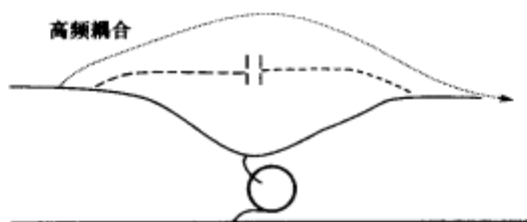


图 2-20 普通电容在高频滤波中的问题

穿心电容之所以能有效地滤除高频噪声,是因为穿心电容不仅没有引线电感造成电容谐振频率过低的问题,而且穿心电容可以直接安装在金属面板上,可利用金属面板起到高频隔离作用。但是在使用穿心电容时,要注意的问题是安装问题。穿心电容最大的弱点是怕高温和温度冲击,这会在穿心电容往金属面板上焊接时造成很大困难。许多电容在焊接过程中发生损坏,特别是当需要将大量的穿心电容安装在面板上时,只要有一个损坏,就很难修复,因为在将损坏的电容拆下时,会造成邻近其他电容的损坏。

随着电子设备复杂程度的提高,设备内部强弱电混合安装、数字逻辑电路混合安装的情况越来越多,电路模块之间的相互干扰成为严重的问题。解决这种电路模块相互干扰的方法之一是用金属隔离舱将不同性质的电路隔离开。但是所有穿过隔离舱的导线要通过穿心电容,否则会造成隔离失效。当不同电路模块之间有大量的连线时,在隔离舱上安装大量的穿心电容是十分困难的事情。为了解决这个问题,国外许多厂商开发了“滤波阵列板”,这是用特殊工艺事先将穿心电容焊接在一块金属板构成的器件,使用滤波阵列板能够轻而易举地解决大量导线穿过金属面板的问题。但是这种滤波阵列板的价格往往较高。



第三章 电感器件的识别与检测

电感器件可分为两大类:一是应用自感作用的电感线圈;二是应用互感作用的变压器。电感线圈的主要作用是对交流信号进行隔离、滤波或组成谐振电路,变压器的主要作用是变换交流电压、电流或阻抗的大小。电感器件广泛应用于电子线路中。本章主要从分类、识别及检测等方面对电感器件进行分析和介绍。

第一节 电感线圈的识别与检测

一、电感线圈的定义及分类

1. 电感线圈的定义

电感线圈一般简称为电感,电感的应用范围很广泛,它在调谐、振荡、耦合、匹配、滤波、陷波、延迟、补偿及偏转等电路中,都是必不可少的。由于用途、工作频率、功率、工作环境不同,对电感的基本参数和结构形式就有不同的要求,从而导致电感的类型和结构的多样化。

电感是一种线圈,本身可以建立(或感应)电压,以此反映通过线圈的电流的变化。也就是说,随着流过线圈的电流的变化,线圈内部会感应某个方向的电压以反映通过线圈的电流变化。电感两端的电压与通过电感的电流有以下关系:

$$U=L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

其中, L 是电感的值。

电感的基本单位是“亨”,用 H 表示,一般情况下,电路中的电感值很小,用 mH (毫亨)、 μH (微亨)表示。其转换关系为: $1H=10^3mH=10^6\mu H$ 。

电感在电路中的基本符号为



与电阻类似,在电路中电感可以任意连接,但是互相耦合的线圈必须用特殊的方式连接。

2. 电感线圈的分类

电感线圈也称电感,是根据电磁感应原理工作的元件,在电子线路中应用十分普遍。

电感线圈按使用特征可分为固定和可调两种,按磁芯材料可分为空芯、磁芯和铁芯等。按结构可分为小型固定电感、平面电感以及中周。

小型固定电感有卧式、立式两种。结构特点是将漆包线或丝包线直接绕在棒形、工字形、王字形等磁芯上,外表裹覆环氧树脂或封装在塑料壳中。具有体积小、重量轻、结构牢

固(耐振、耐冲击)、防潮性能好、安装方便等优点。一般常用在滤波、延迟等电路中。

平面电感是在陶瓷或微晶玻璃基片沉淀金属导线而成。有较好的稳定性、精度及可靠性,常应用在几十兆赫到几百兆赫的电路中。

中周线圈由磁芯、磁罩、塑料骨架和金属屏蔽壳组成,线圈绕制在塑料骨架或直接绕制在磁芯上,骨架插脚可以焊接在印制电路板上。中周线圈是超外差式无线电设备中的主要元件,广泛用在调幅、调频接收机、电视接收机、通信接收机等电子设备的调谐回路中。

下面介绍几种常用的电感线圈。

1) 空芯线圈

用导线绕制在纸筒、胶木筒、塑料筒上组成的线圈或绕制后脱胎而成的线圈,由于此线圈中间不另加介质材料,因此称为空芯线圈。外形及符号如图 3-1 所示。

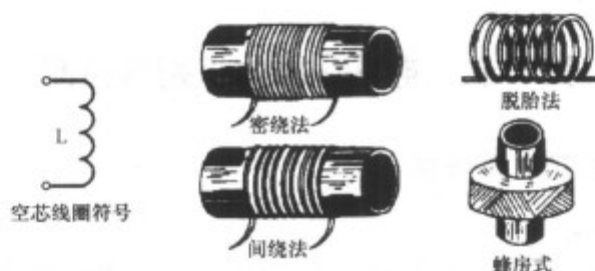


图 3-1 空芯线圈的外形及符号

2) 磁芯线圈

用导线在磁芯磁环上绕制成线圈,或者在空芯线圈中插入磁芯组成的线圈称为磁芯线圈。外形及符号如图 3-2 所示。

3) 可调磁芯线圈

在空芯线圈中插入可调的磁芯组成可调磁芯线圈。其外形和符号如图 3-3 所示。



图 3-2 磁芯线圈的外形及符号



图 3-3 可调磁芯线圈的外形和符号

4) 色码电感

色码电感是一种带磁芯的小型固定电感。其电感量标示方法与色环电阻器一样,是以色环或色点表示的,但有些固定电感器没有采用色环标示法,而是直接将电感量数值标在电感壳体上。习惯上也称其为“色码电感器”。常用色码电感器外形及符号如图 3-4 所示。

5) 铁芯线圈

在空芯线圈中插入硅钢片组成铁芯线圈,外形及符号如图 3-5 所示。

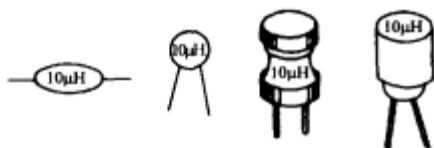


图 3-4 色码电感的外形及符号



图 3-5 铁芯线圈的外形及符号

在扩音机电源电路中就采用了铁芯线圈,称它为低频扼流圈。它的作用是用来阻止残余交流电通过,而让直流电通过。

二、电感线圈的主要参数

电感线圈的主要参数有以下几项。

1. 电感量 L

电感量 L 也称自感系数,是表示电感元件自感应能力的一种物理量。当通过一个线圈的磁通(即通过某一面积的磁力线数)发生变化时,线圈中便会产生电势,这是电磁感应现象。所产生的电势称感应电势,电势大小正比于磁通变化的速度和线圈匝数。当线圈中通过变化的电流时,线圈产生的磁通也要变化,磁通掠过线圈,线圈两端便产生感应电势,这便是自感应现象。自感电势的方向总是阻止电流变化的,犹如线圈具有惯性,这种电磁惯性的量大小就用电感量 L 来表示。 L 的大小与线圈匝数、尺寸和导磁材料均有关,采用硅钢片或铁氧体作线圈铁芯,可以较小的匝数得到较大的电感量。

2. 感抗 X_L

由于电感线圈的自感电势总是阻止线圈中电流变化,故线圈对交流电有阻力作用,阻力大小就用感抗 X_L 来表示。 X_L 与线圈电感量 L 和交流电频率 f 成正比,计算公式为

$$X_L = 2\pi fL$$

不难看出,线圈通过低频电流时 X_L 小。通过直流电时 X_L 为零,仅线圈的直流电阻起阻力作用,因电阻一般很小,所以近似短路。通过高频电流时 X_L 大,若 L 也大,则近似开路。线圈的此种特性正好与电容相反,所以,利用电感元件和电容器就可以组成各种高频、中频和低频滤波器,以及调谐回路、选频回路和阻流圈电路等。

3. 品质因数 Q

品质因数 Q 是表示电感线圈品质的参数,亦称作 Q 值或优值。线圈在一定频率的交流电压下工作时,其感抗 X_L 和等效损耗电阻之比即为 Q 值,表达式如下:

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{2\pi fL}{R}$$

由此可见,线圈的感抗越大,损耗电阻越小,其 Q 值就越高。

值得注意的是,损耗电阻在频率 f 较低时可视为基本上以线圈直流电阻为主;当 f 较高时,因线圈骨架及浸渍物的介质损耗、铁芯及屏蔽罩损耗、导线高频趋肤效应损耗等影响较明显, R 就应包括各种损耗在内的等效损耗电阻,不能仅计直流电阻。

Q 的数值大都在几十至几百。 Q 值越高,电路的损耗越小,效率越高,但 Q 值提高到一定程度后便会受到种种因素限制,而且许多电路对线圈 Q 值也没有很高的要求,所以具体决定 Q 值应视电路要求而定。

4. 直流电阻

直流电阻是电感线圈自身的电阻,可用万用表或欧姆表直接测得。

5. 额定电流

额定电流是指允许长时间通过电感元件的直流电流值。在选用电感元件时,若电路流过电流大于额定电流值,就需改用额定电流符合要求的其他型号电感器。

6. 稳定性

稳定性是衡量电感器的一个重要指标。电感器的稳定性通常用电感温度系数 α_L 和 不稳定系数 β_L 两个量来衡量,这两个系数越大,电感器的稳定性越差。

三、电感线圈的标志识别

电感线圈在电路图中通常用“L”来表示。L 的基本单位是 H(亨),还有 mH(毫亨)、 μ H(微亨)。

下面重点介绍目前使用较广泛的几种色码电感的标示方法。

1. 直标法

电感量是由数字和单位直接标在外壳上,具体方法是:电感上的数字是标称电感量,其单位是 μ H 或 mH。

2. 色点标注法

用色点作标志,与电阻色环标志相似,但顺序相反,单位为 μ H,如图 3-6 所示。



图 3-6 色点标志

色点环标注的前两点为有效数字,第三点为倍率,见表 3-1。

表 3-1 色环标注法

颜色	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑
有效数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
乘数	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^0

3. 数码表示法

通常采用三位数码表示,前两位表示有效数字,第三位表示有效数后零的个数,小数点用 R 表示,最后一位英文字母表示误差范围,单位为 μ H。如 220K 表示为 22μ H,8R2J 表示 8.2μ H。

四、电感线圈的串联与并联

有时,电路中需要使用的电感值不同于标称值。在这种情况下,需要以串联或并联电感的方式得到需要的电感值。

1. 电感的串联

在串联方式下,各电感首尾相接。

在这种连接中,总电感值等于各电感值之和,即

$$L=L_1+L_2+L_3+\cdots$$

例如,一个 10mH 的电感和一个 47mH 的电感串联,总的电感值为

$$L=L_1+L_2=10+47=57\text{mH}$$

2. 电感的并联

在并联方式下,总电感值的倒数等于各电感倒数值之和,即

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots$$

例如,两个 10mH 的电感并联,则总电感值为

$$L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} = \frac{10 \times 10}{10 + 10} = 5\text{mH}$$

五、电感线圈的检测

电感器件的绕组通断、绝缘等状况可用万用表的电阻挡进行检测。

1. 在路检测

将万用表置 R×1 挡或 R×10 挡,用两表笔接触在路线圈的两端,表针应指示导通,否则线圈断路。该法适合粗略、快速测量线圈是否烧坏。

2. 非在路检测

将电感器件从线路板上焊开一脚,或直接取下,把万用表转到 R×1 挡并准确调零,测线圈两端的阻值,如线圈用线较细或匝数较多,指针应有较明显的摆动,一般为几欧姆至十几欧姆之间;如阻值明显偏小(如 36Ω 减至 17Ω),可判断线圈匝间短路。不过有许多线圈线径较粗,电阻值为欧姆级甚至小于 1Ω,这时用指针式万用表的 R×1 挡来测量就不太易读,可改用数字万用表的欧姆挡。如 DT890 的 200Ω 挡,可以较准确地测量 1Ω 左右的阻值。档次更高一些的数字表如 DT9203,不仅能准确到 0.1Ω,而且还设有电感挡(L),能直接测量出电感量。对于有多个线圈的电感元件,除了要分别测量各绕组的通断及电阻外,还应用万用表的 R×10k 挡测量各绕组之间以及绕组与铁芯、绕组与金属屏蔽罩之间是否存在短路或漏电现象,测量值均应为∞;否则便说明有短路或漏电现象。

六、铁氧体简介

铁氧体磁芯上绕上线圈可制成电感器或变压器,它们广泛用于仪器仪表、通信设备和家用电器中。

铁氧体磁芯的材料牌号较多,几何形状也繁多,有柱形、工字形、帽形、单孔、双孔、四孔、U 形、罐形、E 形、EI 形、EC 形、RM 形、PQ 形、EP 形,每一种形状的磁芯自成一列,供用户选用。

在铁氧体磁芯上绕上线圈制成的电感器与同体积的空芯线圈相比电感量大,而且 Q 值(品质因数)也高。如罐形磁芯,用它制成 4mH 的电感器时,只要绕 43 匝线圈就行了,如不用罐形磁芯,改为空芯线圈,需绕 600 匝才能得到 4mH 的电感器。由此可见,使用了磁芯后,可大大缩小电感器或变压器的体积。

软磁铁氧体材料可分为两大类:镍锌材料和锰锌材料。一般镍锌材料的初始磁导率约为 10~1500,使用频率约从 500kHz 至几百兆赫。一般锰锌材料的初始磁导率约为 400~10000,使用频率从几千赫至 500kHz。

第二节 变压器的识别与检测

一、变压器的定义及分类

1. 变压器的定义

绕在同一骨架或铁芯上的两个线圈便构成了一个变压器。电子电路中,变压器是利用互耦线圈实现升压或降压功能的,如果对变压器一侧线圈(初级线圈)施加变化的电压(如交流电压),利用互感原理就会在另一侧线圈(次级线圈)中得到一个电压。

如果对初级线圈施加较高的电压,在次级得到较低的电压,这种变压器称为降压变压器。如果对初级线圈施加较低的电压,在次级得到较高的电压,则称为升压变压器。

由低电压产生高电压或由高电压产生低电压会不会违反能量守恒原理?当然不会。现在,我们只注意电压,没有注意电流。功率是电流和电压的乘积。实际上,当变压器中由低电压产生高电压时,其输出电流将小于输入电流,因此总功率仍然不变。

次级线圈中间多余的一条线称为“中心抽头”,会在部分变压器中出现。一般情况下,中心抽头与其他两个抽头之间的电压是相等的。

2. 变压器的分类

变压器的种类很多,根据线圈之间使用的耦合材料不同,可分为空芯变压器、磁芯变压器和铁芯变压器三大类;根据工作频率的不同又可将变压器分为高频变压器、中频变压器、低频变压器和脉冲变压器。图 3-7(a)所示为收音机中的磁性天线,它是一种高频变压器。图(b)所示为中频变压器,用在电视机、收音机的中频放大级,俗称“中周”。图(c)所示为一种低频变压器,它的种类较多,有电源变压器、输出变压器、输入变压器、线间变压器等。图(d)所示为电视机的行输出变压器,它是一种脉冲变压器。



图 3-7 常见变压器的外形

(a) 高频变压器; (b) 中频变压器; (c) 低频变压器; (d) 脉冲变压器。

下面扼要介绍一下各类变压器的特点。

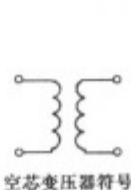
(1) 空芯变压器

空芯变压器是由两个空芯线圈互相靠近,而又彼此绝缘固定在纸筒、胶木筒上组成的,它的符号和实物外形如图 3-8 所示。空芯变压器的两个线圈分别称初级线圈和次级线圈。收音机中的天线输入级就采用这种空芯变压器。通过它,可以把天线中接收到的

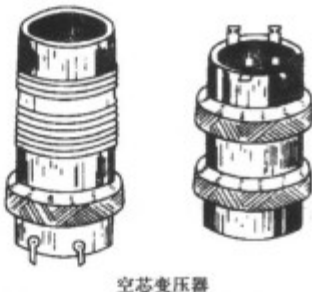
信号耦合到变频级进行变频和放大。

(2)磁芯变压器

磁芯变压器是由两个线圈与固定磁芯所组成。它的符号和实物外形如图 3-9 所示。



空芯变压器符号

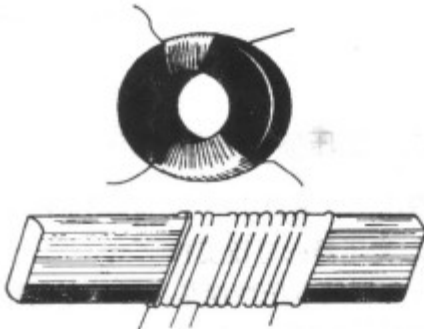


空芯变压器

图 3-8 空芯变压器的外形和符号



磁芯变压器符号



磁芯变压器

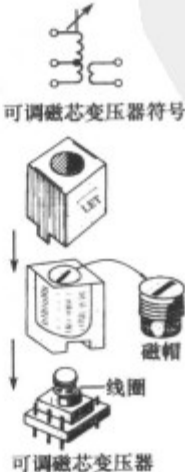
图 3-9 磁芯变压器的外形和符号

(3)可调磁芯变压器

可调磁芯变压器也称中周变压器,其外形和符号如图 3-10 所示。即用两组导线绕制在同一磁芯上,并在上面加一个磁帽。当旋转磁帽时,可微调线圈的电感量。

(4)铁芯变压器

两组或多组线圈中间插入硅钢片就组成铁芯变压器,它的符号和外形如图 3-11 所示。图 3-12 所示的功放电路中的 T_1 和 T_2 就是采用了铁芯变压器。其中 T_1 称输入变压器, T_2 称输出变压器。它们的作用是变换阻抗和传输信号。



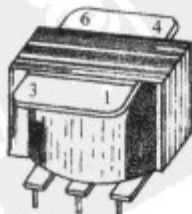
可调磁芯变压器符号

可调磁芯变压器

图 3-10 可调磁芯变压器的外形和符号



铁芯变压器符号



铁芯变压器

图 3-11 铁芯变压器的外形和符号

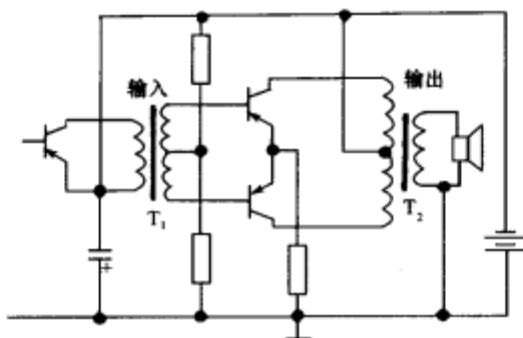


图 3-12 功放电路

二、变压器的主要作用

变压器在电路中的主要作用是作交流电压变换和阻抗变换。

1. 变压器的电压变换

变压器的电压变换是指通过变压器将电路电压升高或降低。下面以图 3-13 所示的铁芯变压器为例进行说明。

图 3-13 中, n_1 为初级线圈, n_2 为次级线圈。一个变压器大多只有一个初级线圈, 但次级线圈可以有一个或多个。以上图为例, 交流电 u_1 加在初级线圈, 因其匝数为 n_1 , 故每匝自感电压为 u_1/n_1 , 假设初次级耦合很紧, u_1 产生的交变磁场全部通过次级线圈, 因此电压 $u_2 = n_2 \times (u_1/n_1) = u_1/n$, 式中 $n = n_1/n_2$, 是变压器的匝数比。由此可见, 次级感应电压与初次级匝数比成反比关系, 当 $n_1 > n_2$ 时, $u_2 < u_1$, 变压器起降压作用; 当 $u_1 < n_2$ 时, $u_2 > u_1$, 变压器起升压作用。若变压器有多个次级线圈, 则每个次级线圈与初级线圈的匝数比均可不同, 变压器可同时起升压和降压作用。

2. 变压器的阻抗变换

变压器阻抗变换示意图如图 3-14 所示。

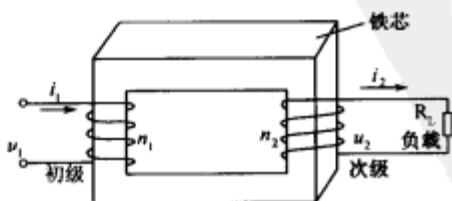


图 3-13 变压器的原理示意图

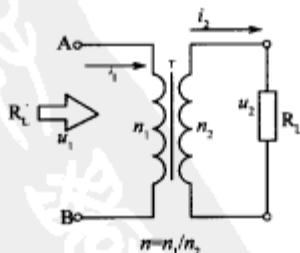


图 3-14 变压器阻抗变换示意图

图 3-14 中, 变压器的次级线圈所接负载为 R_L , 次级线圈的等效负载阻抗即从变压器 AB 端看进去的等效负载阻抗 R'_L 。

因为

$$P = \frac{u_1^2}{R'_L} = \frac{u_2^2}{R_L}$$

所以

$$R'_L = \frac{u_1^2}{u_2^2} R_L$$

又

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

因此,

$$R'_L = n^2 R_L$$

另外,理论证明:电子电路输入端阻抗与信号源内阻相等时($R_L = r_s$),信号源可把信号功率最大限度地传送给电路。同样,当负载阻抗与电子线路的输出阻抗相等时,负载上得到的功率为最大。这种情况称作“阻抗匹配”。然而在实际电路中,信号源和负载的阻抗并不都匹配,需要匹配元件或电路插在两者之间,以实现阻抗匹配。变压器的阻抗变化功能正能实现这种连接。当然在实际应用中,为了获得较好的电压传输效率或减少信号波形失真,应用变压器主要是为了实现合理的阻抗变换而非“完全匹配”。

三、变压器的主要参数

描述变压器质量的参数比较多,但不同用途的变压器,对各种参数的要求很不一样。例如,对音频变压器而言,频率响应是很重要的一个参数,但对电源变压器则不考虑该项指标。

下面简单叙述一下各种变压器比较通用的几项参数的意义。

1. 变压比 n

如图 3-13 所示,变压器的变压比为

$$n = \frac{u_1}{u_2} = \frac{i_1}{i_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

实际应用的变压器由于存在着各种损耗,所以初、次级绕组间的电压、电流关系不完全满足上式,但差别不大(变压器的损耗越少,差别越小),故上式仍可作一般估算用。

2. 效率 η

在额定负载时,变压器的输出功率 P_2 与其输入功率 P_1 之比,称为变压器的效率 η 。

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

η 总是小于 100%,原因有以下两个方面。

1) 铜损。变压器的绕组是用漆包线绕制的,由于导体存在着电阻,电流通过时就会因发热而损耗一部分电能。

2) 铁损。铁损包括磁滞损失和涡流损失。变压器通电后,由于电流的大小和方向不断地变化,磁力线也随之变化,使铁芯内部分子相互摩擦产生热量,从而影响磁力线的变化,即产生磁滞。而且在变压器工作时,铁芯中有磁力线通过,因此就在磁力线平面垂直的方向上产生感应电流,像一个个小旋涡,使铁芯发热,消耗电能,这便是涡流损失。

为了减少铁损,变压器的铁芯采用磁导率高(容易磁化)而磁滞小的软磁性材料制作,如含 3%~4% 硅的硅钢片、坡莫合金等。同时将这些材料做成薄片叠成铁芯,并使它们之间绝缘,切断涡流,以减少涡流损失。

变压器的效率与变压器的功率等级也有密切关系。功率越大,效率也越高。

3. 频率响应

频率响应是音频变压器的一项重要指标。通常要求音频变压器对不同频率的音频信号电压,都能按一定的变压比作不失真的传输。实际上,由于变压器初级电感和漏感及分

布电容的影响,不能实现这一点。初级电感越小,低频信号电压失真越大;漏感和分布电容越大,对高频信号电压的失真越大。

四、电源变压器和隔离变压器

1. 电源变压器

电源变压器是一种最为常见的铁芯变压器,图 3-15 所示是一些小型电源变压器的外形图。它由铁芯、线圈(绕组)、线圈骨架、绝缘物等组成。

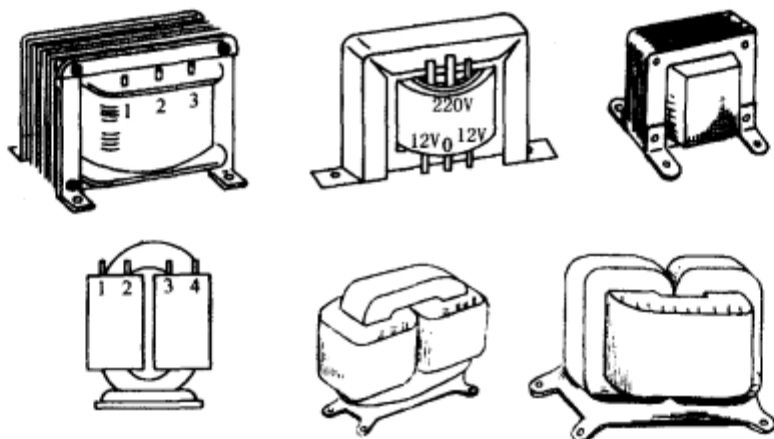


图 3-15 电源变压器的外形

变压器的铁芯常见是“E”形和斜“E”形、“口”形、“C”形等。如图 3-16 所示。

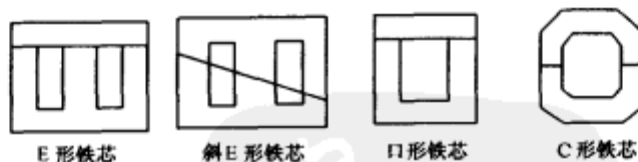


图 3-16 变压器的铁芯

“口”形铁芯用在大功率的变压器中。“C”形铁芯采用新型材料,具有体积小、重量轻、质量高的优点,但制作要求高。

“E”形铁芯是使用较多的铁芯,自制变压器一般也采用这种铁芯。用这种铁芯制成的变压器,铁芯对绕组能形成保护外壳,另外,铁芯散热表面也较大。组装铁芯时,要将硅钢片的开口处交替地分置在两边,这样能减少接口处的磁阻。

变压器的线圈又称为绕组,要用表面有绝缘层的漆包铜线来绕制。绕组一般由一组初级绕组(工作时与输入电源相接的绕组叫初级绕组)和几组次级绕组(与负载相接的绕组叫次级绕组)组成。通常变压器的初、次级绕组间加有静电屏蔽层。

2. 隔离变压器

隔离变压器是变压器家族中的一个分支。顾名思义,它的功能主要是“隔离”,因而与一般的变压器有较大区别。普通变压器主要用来实现电能或信号的传输和分配,其功能是变换电压和电流,实现阻抗匹配,因此它的初级和次级绕组匝数不相等,变比均大于或

小于 1, 隔离变压器的功能是隔离电源、切断干扰源的耦合通路和传输通道, 它的初级和次级绕组匝数比为 1 或近似为 1 (考虑原、副边绕组的磁通及电压损耗时)。隔离变压器根据用途的不同, 一般可分为两大类。

一类广泛用于电子电路中, 作为一种抑制噪声干扰的有效措施, 扮演“干扰隔离”的角色, 称为干扰隔离变压器。它可使两个互有联系的电路相互独立, 不能形成回路, 从而有效地切断了干扰信号从一个电路进入另一个电路的噪声通路, 还可用来断开共地环路, 抑制噪声磁场的影响, 切断公共阻抗耦合干扰通道。比如电子设备如模拟电子仪表、数字电子仪表及工业控制计算机等, 由于接在公用电网上, 各种用电设备的起停、大功率电力电子装置中晶闸管元件的快速导通与截止, 在电网中产生冲击尖峰脉冲和高次谐波, 使它们不能正常工作。对此除了可敷设专用供电线路以外, 还可以采用隔离变压器加以隔离。实践证明, 隔离变压器是一种简便易行的抗干扰措施, 可以有效地隔断通过电源供电线路传导耦合的各种工业干扰。在使用中, 干扰隔离变压器的位置应尽量靠近负载, 以减少次级回路再次拾取噪声的可能。一些对质量要求较高的测量及信号放大器还要求干扰隔离变压器的原边和副边之间均分别加屏蔽层的“三重屏蔽”方式。只要屏蔽层接地良好, 就能有效地抑制从初级绕组耦合到次级绕组的电容性耦合噪声。

另一类隔离变压器的主要功能是隔离电源, 我们称之为电源隔离变压器。比如许多彩色电视机使用不带电源变压器的开关式稳压电源, 220V 单相交流与彩电底板呈直通状态。在维修过程中稍有不慎就会发生触电事故, 所以必须采用安全隔离措施来加以预防。使用电源隔离变压器就能起到“安全隔离”的作用。它的匝数比(变比)为 1:1, 但在大多数情况下, 考虑到变压器中存在着各种损耗, 故常将次级匝数设计得比初级匝数多 3%~5%。初级绕组与次级绕组之间绝缘要良好, 不漏电, 使初、次级间无电气上的直接联系, 从而起到安全隔离的作用。

下面简单地介绍一下利用电源隔离变压器进行电源安全隔离的原理。我们知道, 电源的零线是与大地相接的, 当人站在地面上碰触到电源的相线时, 就有电流通过人体流入大地形成回路, 从而造成触电事故, 如图 3-17(a) 所示。如果我们在单相 220V 交流电源与家用电器之间接入一个隔离变压器, 就使得变压器次级两端都不接地而呈“悬浮”供电状态。此时即使人体偶尔触及变压器次级的任意一端, 也不会形成闭合回路, 人体上没有电流通过, 所以不会发生触电事故, 如图(b) 所示。这种变压器又称之为安全隔离变压器。必须注意的是, 在这种情况下, 人体不能同时触及变压器次级的两个接线端, 否则仍会发生触电事故。用于单台家用电器的隔离变压器, 容量一般为 100W~150W, 如多台家电合用, 其隔离变压器的功率应大于家电功率之和。

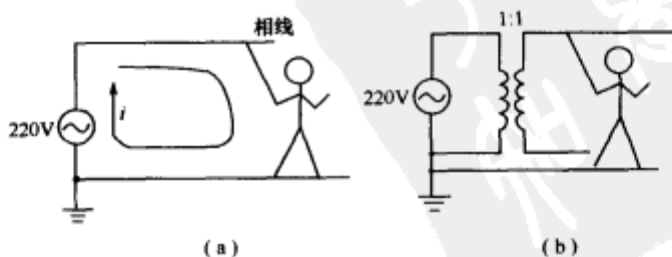


图 3-17 隔离变压器的隔离原理

由上述可知,干扰隔离变压器具有“干扰隔离”的作用,而电源隔离变压器具有“安全隔离”的作用。一般而言,不论何种变压器均具有“隔离”的作用。如电力变换器除了变换电压、电流,实现阻抗匹配以外,还具有将高低压电网相互隔离的功能。电子设备及广播通信中的线间变压器,除了实现阻抗匹配,有效传递交流信号之外,还能隔离各级的静态直流工作状态,避免它们相互影响,同时线间变压器还使负载(扬声器)与信号传输线相互隔离,起到减小直流静态损耗的作用。只不过这些变压器的“隔离”作用在其主要用途中处于次要的地位上,是一种附加功能。在实际情况下,往往要求变压器具备多种功能,一个好的变压器,既能隔离电源,又能变换电压或电流,完成阻抗匹配,还能起到抑制干扰、有效传输工作信号的作用。在工作和生活中,我们可以根据需要加以选用。

五、电源变压器的设计

电源变压器是根据互感原理制成的一种常用变压器,其作用是把市电交流 220V 转换成适合需要的高低不同的交流电压,供有关仪器设备使用。电源变压器在家用电器设备中得到了广泛的应用。为便于读者全面了解变压器的原理、设计及检测方法,下面以 E 形铁芯为例,介绍电源变压器的具体设计制作方法。

1. 制作电源变压器的材料

1) 硅钢片

做变压器的铁芯用。E 形铁芯的形状如图 3-18 所示。图中, a 表示铁芯舌宽, b 表示铁芯叠厚, c 表示铁芯窗口宽度, h 表示窗口高度。

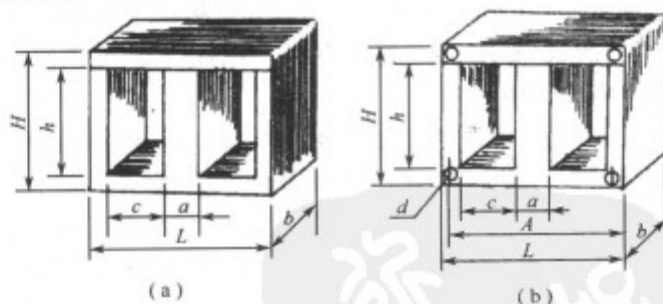


图 3-18 E 形铁芯的形状

(a) 无固定孔; (b) 带固定孔。

2) 导线

绕制变压器各级绕组用。常用的导线是漆包线。

3) 胶木板

做线圈骨架用。有的变压器也可用弹性纸做骨架。

4) 绝缘纸

做层间绝缘和绕组间绝缘材料用。常用的绝缘纸有电缆纸、黄蜡绸、牛皮纸和聚脂薄膜等。一般选用层间绝缘纸的厚度可视导线直径的大小而定。

2. 计算

1) 计算次级输出总功率 P_2

$$P_2 = U_{21} I_{21} + U_{22} I_{22} + \cdots + U_{2n} I_{2n}$$

式中, U_{21} 、 U_{22} 、 U_{2n} 分别为各次级绕组的电压值; I_{21} 、 I_{22} 、 I_{2n} 分别为各次级绕组的电流值。

2) 计算初级的输入功率 P_1 及电流 I_1

可根据公式 $\eta = \frac{P_2}{P_1}$ 来推算 P_1 。

η 为效率, 对于 $10\text{V} \cdot \text{A}$ 以下的变压器, η 为 $0.6 \sim 0.7$; $10\text{V} \cdot \text{A} \sim 30\text{V} \cdot \text{A}$ 的变压器, η 为 $0.7 \sim 0.8$; $35\text{V} \cdot \text{A} \sim 50\text{V} \cdot \text{A}$ 的变压器, η 为 $0.8 \sim 0.85$ 。 $50\text{V} \cdot \text{A} \sim 100\text{V} \cdot \text{A}$ 的变压器, η 为 $0.85 \sim 0.9$ 。

3) 计算铁芯截面积 S

$$S = K \sqrt{P_0}$$

式中, $P_0 = \frac{P_1 + P_2}{2}$; S 的单位为 cm^2 ; P 的单位为伏安; K 为系数。此系数应根据所选用的硅钢片的质量优劣而定, 一般型号为 D42、D43 等硅钢片的磁感应强度 B 为 $1\text{T} \sim 1.2\text{T}$, K 取 1.25 ; 若硅钢片的质量较好, 如 D310 型硅钢片 B 为 $1.2\text{T} \sim 1.4\text{T}$, 则 K 可取小一些; 质量较差的硅钢片, 如 D21、D22 等, B 仅为 $0.5\text{T} \sim 0.7\text{T}$, 系数 K 须取 2 。非专业条件下取用的硅钢片, 常常不知道它的型号和 B 的数值, 但可从外形来估计, 如果硅钢片的厚度薄, 质地脆, 折断后裂口处亮晶晶的, 则磁性能较优, B 一般在 1T 以上; 如果硅钢片较厚, 且质地软, 则磁性能较差, B 一般在 0.5T 左右。

4) 选择铁芯规格并计算其叠厚 b

在算出了所需的铁芯截面积之后, 便可选择具体使用的铁芯的规格, 并算出其叠厚 b 。计算公式为

$$b = \frac{S}{a}$$

式中, b 为叠厚; S 为所需的铁芯截面积; a 为铁心的舌宽。铁芯规格选定之后, a 便确定下来, 并可算出铁芯的叠厚 b , 每片硅钢片的厚度 (一般为 $0.35\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$) 选好以后, 就可以计算出片数。

5) 计算初级绕组每伏匝数 N_0 和次级绕组每伏匝数 N'_0 以及次级各绕组的匝数 N_n 。

根据公式可求出初级每伏匝数, 即

$$N_0 = \frac{4.5 \times 10}{B \cdot S}$$

式中, B 的单位为特斯拉 (T); S 的单位为平方厘米 (cm^2)。

为了补偿铁芯和铜线中的功率损耗, 次级各绕组的实际匝数应比计算值增加 5% 左右, 即次级各绕组的每伏匝数

$$N'_0 = 1.05 N_0$$

因此各次级绕组的匝数

$$N_n = N'_0 U_n = 1.05 N_0 U_n$$

6) 计算各绕组的导线直径 d

$$d = 1.13 \sqrt{\frac{I}{J}}$$

式中, d 的单位为 mm ; 电流强度 I 的单位为 A ; 电流密度 J 的单位为 A/mm^2 ; J 的取值与

变压器的使用条件、功率大小有关。一般 $100\text{V} \cdot \text{A}$ 以下连续工作的变压器 J 取 $2.5\text{A}/\text{mm}^2$, 而 $100\text{V} \cdot \text{A}$ 以上的变压器, 则 J 应取 $2\text{A}/\text{mm}^2$ 。

3. 设计举例

设计一只稳压电源上的变压器, 电路如图 3-19 所示。

初级供电电压为市电电压交流 220V , 要求次级有 4 个绕组, 分别为 $36\text{V}/2\text{A}$, $30\text{V}/0.5\text{A}$, $24\text{V}/1\text{A}$ 和 $6.3\text{V}/2\text{A}$ 。

1) 计算变压器次级总功率 P_2

$$P_2 = U_{21}I_{21} + U_{22}I_{22} + \cdots + U_{2n}I_{2n} = 36 \times 2 + 30 \times 0.5 + 24 \times 1 + 6.3 \times 2 = 123.6\text{V} \cdot \text{A}$$

2) 计算初级的输入功率 P_1 (η 取 0.85) 和初级电流 I_1

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = 123.6 \div 0.85 = 145.4\text{V} \cdot \text{A}$$

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = 145.4 \div 220 = 0.66\text{A}$$

3) 计算铁芯截面积 S

$$S = K \sqrt{P_0} = 1.25 \sqrt{\frac{123.6 + 145.4}{2}} = 14.5\text{cm}^2$$

4) 选择铁芯规格并计算其叠厚 b

选用 CE1B-40 标准铁芯, 该铁芯的舌宽 $a = 4\text{cm}$, 窗宽 $c = 2.6\text{cm}$, 窗高 $h = 7.2\text{cm}$, 则

$$b = \frac{S}{a} = 14.5 \div 4 = 3.625\text{cm}$$

为了减小每匝伏数, 取 $b = 4.6\text{cm}$, 并选用 0.35mm 的硅钢片, 则

$$S = 4.6 \times 4 = 18.4\text{cm}^2$$

所需铁芯片数 $= b \div 0.35 = 131$ 片。

5) 计算每伏匝数

初级绕组每伏匝数 (B 取 0.7T)

$$N_0 = \frac{4.5 \times 10}{B \cdot S} = (4.5 \times 10) \div (0.7 \times 18.4) = 3.5 \text{ 匝/V}$$

次级绕组每伏匝数

$$N'_0 = 1.05 N_0 = 3.7 \text{ 匝/V}$$

6) 计算初次级各绕组的匝数

初级绕组: $N_1 = N_0 U_1 = 3.5 \times 220 = 770$ 匝

次级绕组:

$$N_{21} = N'_0 U_{21} = 3.7 \times 36 \approx 133 \text{ 匝}$$

$$N_{22} = N'_0 U_{22} = 3.7 \times 30 = 111 \text{ 匝}$$

$$N_{23} = N'_0 U_{23} = 3.7 \times 24 \approx 89 \text{ 匝}$$

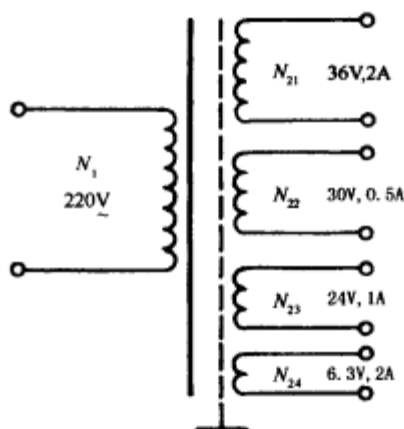


图 3-19 电源变压器电路

$$N_{24} = N_0' U_{24} = 3.7 \times 6.3 \approx 23 \text{ 匝}$$

7) 计算各绕组线径

J 取 2.5 A/mm^2 , 则

$$d = 1.13 \sqrt{\frac{I}{J}} = 0.72 \sqrt{I}$$

初级绕组线径

$$d_1 = 0.72 \sqrt{I} = 0.72 \sqrt{0.66} = 0.58 \text{ mm}$$

选用 $\phi 0.64 \text{ mm}$ 漆包线。

次级各绕组线径

$$d_{21} = 0.72 \sqrt{2} = 1.02 \text{ mm}$$

选用 $\phi 1.20 \text{ mm}$ 漆包线。

$$d_{22} = 0.72 \sqrt{0.5} = 0.51 \text{ mm}$$

选用 $\phi 0.55 \text{ mm}$ 漆包线。

$$d_{22} = 0.72 \sqrt{1} = 0.72 \text{ mm}$$

选用 $\phi 0.80 \text{ mm}$ 漆包线。

$$d_{24} = 0.72 \sqrt{2} = 1.02 \text{ mm}$$

选用 $\phi 1.20 \text{ mm}$ 漆包线。

4. 线圈的绕制

1) 制作木芯

图 3-20 所示的木芯是在绕制线圈时用来支撑绕组骨架的。木芯的截面应稍比变压器铁芯截面大一些, 使插硅钢片时不损坏绕好的线包。木芯的长度应比铁芯窗口高度长一些, 其中心孔必须钻得正直。

2) 制作线圈骨架

线圈骨架除了起支撑线圈作用外, 还起绝缘作用。一般可用弹性纸制作框骨架如图 3-21 所示。

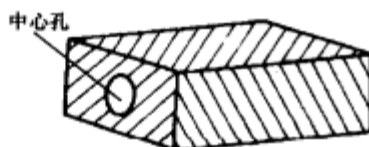


图 3-20 木芯的形状

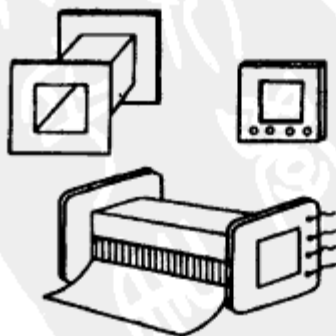


图 3-21 线圈骨架

框骨架的长度应比铁芯窗高稍短些(约短 1.5 mm 左右)。线圈骨架还可以采用现成的塑料或尼龙框骨架。

3) 绕线

先裁剪好绝缘纸。纸的宽度应等于线圈骨架的长度,而长度应稍大于线圈骨架的周长。开始绕线前先在套好木芯的线圈骨架上衬垫两层厚 0.05mm 的聚酯薄膜和 1 层厚 0.05mm 的牛皮纸;并用胶水粘牢,然后将木芯中心孔穿入绕线机轴,并用螺母紧紧固定。起绕时在导线引绕头(或结束时的线尾)压入一条 10mm 宽的黄蜡布折条,以便抽紧起始线头(或线尾),如图 3-22 所示。

漆包线应一圈紧挨一圈地整齐排列,排满一层后,垫上绝缘材料后再绕第二层,直至绕足所需的圈数。各绕组绕制的次序为初级、静电屏蔽、次级高压绕组、次级低压绕组。静电屏蔽层常用铜箔或铝箔在初级绕组外缠绕一层,但两头重合处不能短路。同时,在金属箔上引出一根导线。绕组的初、次级间或各绕组间必须注意绝缘良好,线圈的最外层应包上厚的牛皮纸或者青壳纸,以增强线包的机械强度。

绕圈的引出线,一般可用铜片条或多股绝缘软线,对于用粗漆包线绕制的线圈,也可以使用线圈本身的线引出,外面再加绝缘套管。

4) 插硅钢片

绕好线圈后取出木芯,可给绕组插入硅钢片,一般把硅钢片以两片为一组,交替地插入线包内,如图 3-23 所示。

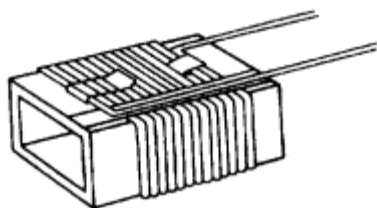


图 3-22 绕线

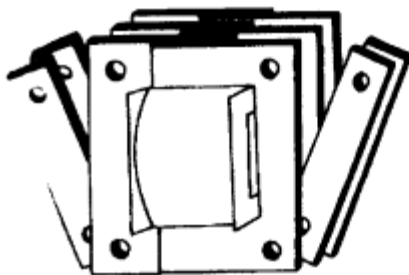


图 3-23 插装硅钢片

当线包内将插满硅钢片时,余下的大约 1/6 硅钢片往往比较难插入(俗称紧片),这部分硅钢片需用旋凿撬开每两片一组的硅钢片夹缝才能插入,并用木锤轻轻敲入。插完硅钢片的变压器应放在平板上,两头用木锤敲打平整(尤其要注意硅钢片“E”形与“I”形的对接处不能留有缝隙)。然后将硅钢片夹紧、固定。在插片时,最好不要损伤硅钢片表面的绝缘层。

为了防潮和增加绝缘强度,制作好的变压器应作绝缘处理。将烘干后的变压器浸入绝缘清漆中,待漆全部渗入后,将其取出烘干或晾干。要提醒的是,在给变压器上漆之前,务必测试一下性能是否合乎要求。

六、电源变压器的检测

无论是购到的电源变压器还是自行绕制的电源变压器,或者是经过修理的旧变压器,为了保证各项性能满足指标要求,都需要进行检查测试。检测时主要包括以下几项。

1. 外观检查

主要是通过仔细观察变压器的外貌来检查其是否有明显异常现象。如线圈引线是否断裂、脱焊,绝缘材料是否有烧焦痕迹,铁芯紧固螺杆是否有松动,硅钢片有无锈蚀,绕组

线圈是否有外露等。

2. 绝缘性能检测

用万用表 $R \times 10k$ 挡分别测量铁芯与初级,初级与各次级,铁芯与各次级,静电屏蔽层与初、次级,次级各绕组间的电阻值,万用表指针均应指在无穷大位置不动。否则,说明变压器绝缘性能不良。

有绝缘性能不良故障的电源变压器,轻者会影响电路的正常工作,重者将导致变压器烧毁或使电路中元件损坏。通常各绕组(包括静电屏蔽层)间、各绕组与铁芯间的绝缘电阻只要有一处低于 $10M\Omega$,就应确认变压器绝缘性能不良。当测得的绝缘电阻小于几百欧到几千欧时,往往表明已经出现组间短路或铁芯与绕组间的短路故障了。这种故障极易造成变压器自身或相关电路元件被烧坏。

3. 检测线圈通断

将万用表置于 $R \times 1$ 挡,分别测量变压器初、次级各个绕组线圈的电阻值。一般初级线圈电阻值应为几十至几百欧,变压器功率越小(通常相对体积也小),则电阻值越大。次级线圈电阻值一般为几至几十欧,电压较高的次级线圈电阻值较大些。测试中,若某个绕组的电阻值为无穷大,则说明此绕组有断路性故障。

4. 判别初、次级线圈

电源变压器初级引脚和次级引脚一般都是分别从两侧引出的,并且初级绕组多标有 220V 字样,次级绕组则标出额定电压值,如 15V、24V、35V 等。可根据这些标记进行识别。但有的电源变压器没有任何标记或者标记符号已经模糊不清。这时便需要正确将初级和次级绕组区分开。通常,电源变压器的初级绕组所用漆包线的线径是比较细的,且匝数较多,而次级绕组所用线径都比较粗,且匝数较少,所以,初级绕组的直流铜阻要比次级绕组的直流铜阻大得多。根据这一特点,可通过用万用表电阻挡测量变压器各绕组的电阻值的大小来辨别初、次级线圈。

注意:有些电源变压器带有升压绕组,升压绕组所用的线径比初级绕组所用线径更细,铜阻值更大,测试时要注意正确区分。

5. 检测空载电流

将次级所有绕组全部开路,把万用表置于交流电流挡(500mA),串入初级绕组。当初级绕组的插头插入 220V 交流市电时,万用表所指示的便是空载电流值。此值不应大于变压器满载电流的 $10\% \sim 20\%$ 。一般常见电子设备的电源变压器的正常空载电流应在 100mA 左右。如果超出太多,则说明变压器有短路性故障。

测试时应注意,当把插头插入 220V 插座时,要认真观察万用表指针向右摆动情况,若发现指针指示值超出万用表量程(打表)说明变压器空载电流过大,应迅速将插头拔下,以防止烧坏表头。并查找变压器空载电流过大的原因。

测试空载电流时,也可采用串联电阻的方法进行测量。即在变压器的初级绕组中串联一个 $10\Omega/5W$ 的电阻,次级仍全部空载。把万用表拨至交流电压挡。加电后,用两表笔测出电阻两端的电压降,然后用欧姆定律算出空载电流。

6. 检测空载电压

将电源变压器的初级接 220V 市电,用万用表交流电压挡依次测出次级各绕组的空载电压值应符合要求值,允许误差范围一般为:高压绕组 $\leq \pm 10\%$,低压绕组 $\leq \pm 5\%$,带

中心抽头的两组对称绕组的电压差应 $\leq \pm 2\%$ 。

测空载电压时需要注意的是,初级输入电压应确实为 220V,不能过高或过低。因为初级输入电压的大小将直接影响到次级输出的电压。若初级加入的 220V 电压偏差太大,将使次级电压偏离正常值,容易造成误判。

7. 检测温升

将变压器的次级空载,在初级输入 220V 额定电压,加电半小时后,用手试摸变压器的铁芯和绕组,正常时,应基本察觉不到温度有所升高。变压器次级绕组加上额定负载时,一般小功率电源变压器允许温升为 $40^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$,如果所用绝缘材料质量较好,允许温升还可提高。

8. 检测判别各绕组的同名端

在使用电源变压器时,有时为了得到所需的次级电压,可将两个或多个次级绕组按如图 3-24 所示的方法串联起来使用。

采用串联法使用电源变压器时,参加串联的各绕组的同名端必须正确连接,不能搞错。否则,变压器将不能正常工作。下面介绍检测判别电源变压器各绕组同名端的实用方法。测试电路如图 3-25 所示。

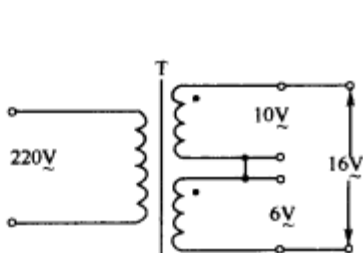


图 3-24 变压器次级绕组串联的方法

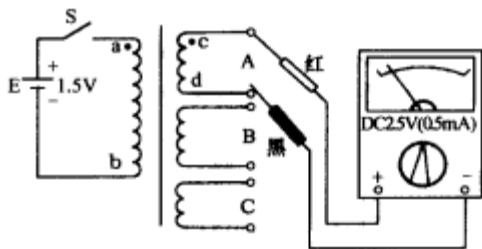


图 3-25 判别变压器同名端的方法

这里仅以测试次级绕组 A 为例加以叙述。图中, E 为 1.5V 干电池,经测试开关 S 与变压器 T 的初级绕组相接。将万用表置于直流 2.5V 挡(或直流 0.5mA 挡)。假定电池 E 正极接变压器初级线圈 a 端,负极接 b 端,万用表的红表笔接 c 端,黑表笔接 d 端。当开关 S 接通的瞬间,变压器初级线圈的电流变化,将引起铁芯的磁通量发生变化。根据电磁感应原理,次级线圈将产生感应电压,此感应电压使接在次级线圈两端的万用表的指针迅速摆动后又返回零位。因此,观察万用表指针的摆动方向,就能判别出变压器各绕组的同名端:若指针向右摆,说明 a 与 c 为同名端, b 与 d 也是同名端,反之,若指针向左摆,则说明 a 与 d 是同名端,而 b 与 c 也是同名端。用此法可依次将其他各绕组的同名端准确地判别出来。

检测判别时需要注意以下几点:

(1)在测试各次级绕组的整个操作过程中,干电池 E 的正、负极与初级绕组的连接应始终保持同一种接法,即不能在测次级绕组 A 时将初级绕组的 a 端接电池 E 的正极, b 端接电池的负极,而测次级绕组 B 时,又将初级的 a 端接电池 E 的负极, b 端接电池 E 的正极。正确的操作方法是,无论测哪一个次级绕组,初级绕组和电池的接法不变。否则,将会产生误判。

(2)若待测的电源变压器为升压变压器(即次级电压高于初级电压),通常则把电池 E

接在次级绕组上,而把万用表接在初级绕组上进行检测。

(3)接通电源的瞬间,万用表指针要向某一方向偏转,但断开电源时,由于自感作用,指针要向相反的方向偏转,如果接通和断开电源的间隔时间太短,很可能只观察到断开时指针的偏转方向,这样会将测量结果搞错。所以,接通电源后要间隔几秒钟再断开,或者干脆多测几次,以保证测量结果的准确可靠。

9. 电源变压器短路故障的检测判别

电源变压器发生短路性故障后的主要症状是发热严重和次级绕组输出电压失常。通常,线圈内部匝间短路点越多,短路电流就越大,而变压器发热就越严重。检测判断电源变压器是否有短路性故障的简单方法是测量空载电流。存在短路故障的变压器,其空载电流值将远大于满载电流的10%。当短路严重时,变压器在空载加电后几十秒钟之内便会迅速发热,用手触摸铁芯会有烫手的感觉。此时不用测量空载电流便可断定变压器有短路点存在。

在查出变压器有短路性故障后,还应该确定故障具体发生在哪个绕组中,这样才便于修复。一般常采用测量各次级绕组的空载电压的方法来查找短路故障的所在部位。当短路点发生在初级绕组中时,测得的各次级绕组的空载电压值均会不同程度地高于正常值;当某组次级绕组发生短路现象时,该次级绕组的空载电压就会较正常值低甚至为零,而其他无短路的次级绕组的空载电压则基本正常;若测得的各次级绕组的空载电压均基本正常,但变压器仍发热严重,则很可能是静电屏蔽层有短路点。

七、电源变压器的修理

经过全面的检测,当确实查明电源变压器存在故障时,可根据不同情况进行适当修理。

1. 绝缘性能不良

对于绝缘性能不良的变压器,可视情况进行处理。例如,遇到由于潮气引起绝缘电阻降低的故障,可以将变压器放入烘箱内,连续烘12h以上,再测它的绝缘情况,若恢复正常,则将变压器重新浸一次绝缘漆便可正常投入使用。

2. 线圈外部断路

线圈断路后,无论变压器有无负载,线圈两端都没有输出电压。实际维修经验证明,变压器经常出现断线的地方是在引出线的根部。遇到这种情况时,可先将变压器在火上进行适当烘烤,使断头处的绝缘漆老化,再用钢针将断头挑出,重新焊上一根引出线。焊好引线后再将撬开处进行补纸、涂漆处理即可。

3. 电源变压器的拆卸

对于发生在线圈内部的绝缘不良、断线、短路等故障,确实需要拆卸变压器进行修理时,可参照下列方法步骤来完成。

1) 拆卸铁芯

目前市售的绝大多数电源变压器均是连铁芯一起用绝缘漆浸渍过的,各片硅钢片都牢牢地互相粘在一起,在常温下是无法拆卸的。为此应先把变压器放入汽油中浸泡1h~2h,也可把变压器放在火炉上进行烘烤,将铁芯加热到80℃~90℃(摸上去烫手,绝缘漆微微冒烟),待铁芯间的绝缘漆软化后,用电工刀具将硅钢片逐片划开,在整个操作过程中,注意不要用力过猛,以免打坏铁芯。如果铁芯采用的为斜E形对插的硅钢片,拆卸时

会更困难些。通常要把变压器放在汽油中多浸泡些时间,待绝缘漆充分软化以后,再用改锥插进硅钢片窗口两边缘与线包交界的空隙处,用力将硅钢片撬出,如果实在难以将硅钢片撬出,就只有用钢锯将线包锯断后再取出硅钢片。

2) 拆卸线圈

取出铁芯后,先对线包作一次外观检查,看骨架有无损坏,然后再次用万用表电阻挡检查故障究竟发生在哪一个线圈,以便进行针对性地拆卸。

拆卸线包时,也需要先将线圈加热,使线包的绝缘层软化,然后再一层一层拆卸,并尽量保持绝缘层的完整。同时应注意将层间绝缘、导线直径、每层匝数、层数及各线头出头位置一一记录下来。特别是有些为灯丝供电的次级绕组的圈数一定要记准,以免重绕时因圈数偏差造成灯丝电压偏高或偏低,影响正常使用。此外,初级绕组的匝数也必须记准,因为它直接影响到其他绕组的电压值。对用于高压电路的次级绕组,可以只记层数,重绕时即使匝数有些出入,也不会影响正常使用。拆卸绕组线圈的一种既方便又实用的方法是将拆线圈套在绕线机轴上夹紧,将上面的漆包线一圈一圈地拉下,随着绕线机轴的转动,计数器就记下了拆下的圈数。在拆卸线圈的过程中,要注意认真查找故障部位。当查到变压器的故障实际部位以后,要视情况进行修理或重新绕制。重绕时最好按原来的参数进行,这样既简便又可靠。在修复或重绕后,要对变压器进行全面检测,各项指标符合要求时,才可继续使用。



第四章 晶体二极管的识别与检测

晶体二极管是晶体管的主要种类之一,它是采用半导体晶体材料(如硅、锗、砷化镓等)制成的,在电子产品中应用十分广泛。本章从二极管的分类、识别和检测等多个方面,对常用二极管进行系统分析和介绍。

第一节 晶体二极管概述

几乎在所有的电子电路中,都要用到晶体二极管,它在许多的电路中起着重要的作用,是诞生最早的半导体器件之一,其应用也非常广泛。

一、二极管的结构

二极管是晶体二极管的简称,也叫半导体二极管,用半导体单晶材料(主要是锗和硅)制成,是半导体器件中最基本的一种器件,是一种具有单方向导电特性的无源半导体器件。

晶体二极管由一个 PN 结加两个引线电极组成,如图 4-1(a)所示。从 P 型区引出线为二极管的正极,从 N 型区引出线为二极管的负极。图(b)为二极管在电路图中的代表符号。二极管的 PN 结主要由锗材料组成的称锗二极管,由硅材料组成的称硅二极管。

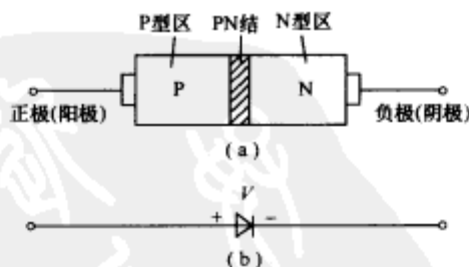


图 4-1 二极管的 PN 结及电路符号
(a)二极管的 PN 结; (b)二极管的符号。

二、二极管的分类和命名

二极管种类有很多,其分类情况如图 4-2 所示。

按照所用的半导体材料,可分为锗二极管(Ge 管)和硅二极管(Si 管)。根据其不同用途,可分为检波二极管、整流二极管、稳压二极管、开关二极管等。按照管芯结构,又可分为点接触型二极管和面接触型二极管。点接触型二极管是用一根很细的金属丝压在光洁的半导体晶片表面,通以脉冲电流,使触丝一端与晶片牢固地烧结在一起,形成一个“PN

结”。由于是点接触，只允许通过较小的电流(不超过几十毫安)，适用于高频小电流电路，如收音机的检波等。面接触型二极管的“PN 结”面积较大，允许通过较大的电流(几安到几十安)，主要用于把交流电变换成直流电的“整流”电路中。图 4-3 为点接触和面接触二极管结构示意图。

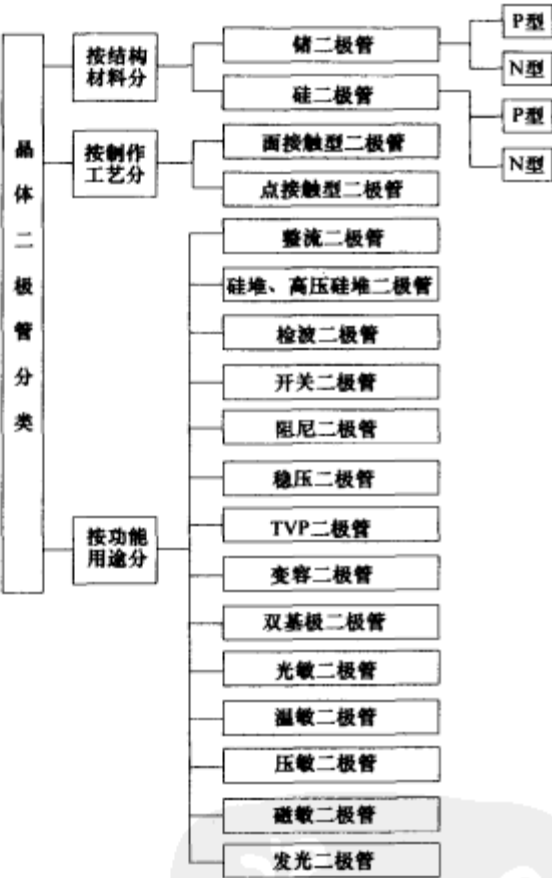


图 4-2 二极管的分类情况

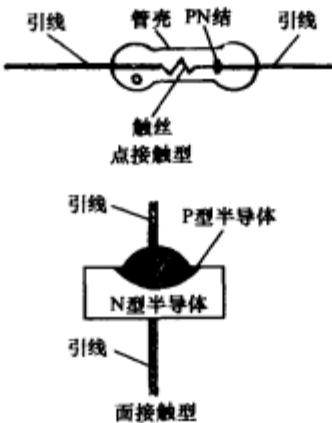


图 4-3 点接触与面接触二极管结构示意图

二极管的命名原则见本书附录。

三、二极管的伏安特性

二极管最重要的特性就是单方向导电性。它可以用加在二极管两端的电压和流经二极管电流的关系(简称伏安特性)来说明。

如图 4-4 所示为硅二极管伏安特性曲线，横轴表示二极管两端的电压，纵轴表示流经二极管的电流，图中的曲线可分为以下三个部分。

1. 正向特性

正向特性见图 4-4 的右上半部。当 U 较小时， I 依然等于 0，这段电压叫死区电压，也就是说，二极管上虽然加了电压，但这个电压不足以使电流通过 PN 结这个阻挡层，所以依然无电流(死区电压：锗管 0.2V~0.4V，硅管 0.5V~0.7V 左右)。当 U 超过死区电

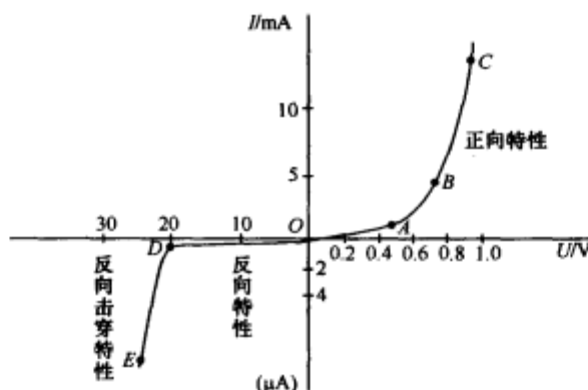


图 4-4 二极管的伏安特性曲线

压以后,只要电压稍稍升高一点就会引起电流急剧增大。通常情况下,硅二极管正向电压不会超过 0.7V,锗二极管正向电压不会超过 0.3V。由正向特性曲线还可以看到:曲线 AB 之间是弯曲的,我们称它为非线性区;BC 之间的曲线较直,我们称它为线性区。

2. 反向特性

当二极管加反向电压时,反向电流很小,而且当反向电压超过零点几伏以后,反向电流不再随反向电压的增大而增大,即达到了饱和,这个电流称为反向饱和电流,一般用符号 I_s 表示。OD 段为二极管的反向特性曲线段。

3. 反向击穿特性

当二极管反向电压增加到某一数值时,反向电流急剧增长,如图 4-4 的 DE 段。若反向电流增长到某一数值,二极管将发生热击穿,热击穿发生将意味着二极管永久性损坏,只要注意控制反向电流的数值,不使其过大,则当反向电压降低时,二极管的性能可能恢复正常。

从二极管的反向击穿特性区可以看出,在反向击穿区,电压基本是稳定的,而电流变化却很大,即具有稳压特性,这时只要有效地防止二极管发生热击穿,二极管的危险区就成为稳压管的工作区,稳压管就是依据这一理论制造出来的。

重点提示:二极管反向击穿并不一定意味着器件完全损坏。二极管击穿分为:电击穿和热击穿。如果是电击穿,则外电场撤销后器件能够恢复正常;如果是热击穿,则意味着器件损坏,不能再次使用。工程实际中的电击穿往往伴随着热击穿。

第二节 整流二极管、整流桥和高压硅堆的检测

一、整流二极管

1. 整流二极管的特性

整流二极管一般选用硅或锗材料面接触型的二极管,它的特点是:工作频率低、允许通过的正向电流大、反向击穿电压高、允许的工作温度高。整流二极管的作用是将交流电变成直流电。国产的整流二极管的型号有 2DZ 系列等。常见的进口整流二极管有 1N4001、1N5401 等型号。整流二极管的电路符号如图 4-5 所示。

二极管整流电路,一般都接在电源变压器的次级输出端或者 220V 的交流市电,通常是用 4 个二极管组成的桥式整流电路。它的后级为滤波器,交流电经整流后,要求将交流成分滤得越干净越好,所以滤波电容器都是用大容量的电解电容器。一般容量为几百至几千微法。整流电路的后面为由它供电的电路。整流电路工作频率较低,而通过二极管的电流较大,所以都用硅材料面接触型整流二极管。



图 4-5 整流二极管的符号

整流二极管不仅有硅管和锗管之分,而且还有低频和高频、大功率和小(中)功率之分。硅管具有良好的温度特性及耐压性能,故在现在的电子装置中应用远比锗管多,选用整流二极管时,若无特殊需要,一般以选硅二极管为宜。

低频整流管亦称普通整流管,主要用在市电 50Hz 电源、100Hz 电源(全波)整流电路及频率低于几百赫的低频电路中。高频整流管亦称快恢复整流管,主要用在频率较高的电路(如电视机行输出和开关电源电路)中。在分析快恢复二极管时还要具体详述。

2. 整流二极管的主要参数

1) 最大整流电流 I_F

最大整流电流是指二极管长期连续工作时允许通过的最大正向电流值。因为电流通过管子时会使管芯发热,温度上升,温度超过容许限度(硅管为 150℃ 左右,锗管为 90℃ 左右)时,就会使管芯过热而损坏。所以,二极管使用中不要超过二极管最大整流电流值。例如,常用的 1N4001~1N4007 型锗二极管的最大整流电流为 1A。

2) 最高反向工作电压 U_R

加在二极管两端的反向电压高到一定值时,会将管子击穿,失去单向导电能力。为了保证使用安全,规定了最高反向工作电压值。例如,1N4001 二极管反向耐压为 50V,1N4007 反向耐压为 1000V。

3) 反向电流 I_R

反向电流是指二极管在规定的温度和最高反向电压作用下,流过二极管的反向电流。反向电流越小,管子的单方向导电性能越好。值得注意的是反向电流与温度有着密切的关系,大约温度每升高 10℃,反向电流增大一倍。例如 2AP1 型锗二极管,在 25℃ 时反向电流若为 250μA,温度升高到 35℃,反向电流将上升到 500μA,依此类推,在 75℃ 时,它的反向电流已达 8mA,不仅失去了单方向导电特性,还会使管子过热而损坏。又如,2CP10 型硅二极管,25℃ 时反向电流仅为 5μA,温度升高到 75℃ 时,反向电流也不过 160μA。故硅二极管比锗二极管在高温下具有较好的稳定性。

4) 最大整流电流下的正向电压降 U_F

当正向电流流过二极管时,二极管两端就会产生正向电压降。在一定的正向电流下,二极管的正向压降越小越好。在通常情况下,锗二极管的正向压降不超过 0.3V,硅二极管的正向压降不超过 0.7V,测试时,如果二极管的正向电压降超过了规定的数值,管子就不合格。

5) 最高工作频率 f_M

由于 PN 结存在结电容和扩散电容,二极管最高工作频率受到限制。因此,各型号的二极管都规定了最高工作频率,在选用或更换二极管时,要使二极管的最高工作频率高于实际使用的工作频率。

重点提示:二极管的 PN 结的 P 型和 N 型两块半导体之间构成一个电容量很小的电容,叫做“极间电容”(如图 4-6 所示)。由于电容的容抗($X_C = \frac{1}{2\pi fC}$)随频率的增高而减小,所以,PN 结工作于高频时,高频信号容易被极间电容反馈而影响 PN 结的工作。但在直流或低频下工作时,极间电容对直流和低频的阻抗很大,故一般不会影响 PN 结的工作性能。PN 结的面积越大,极间电容量越大,影响也越大,这就是面接触型二极管(如整流二极管)不能用于高频工作的原因。

3. 整流二极管的检测

1) 判别正、负极

(1)观察外壳上的符号标记。有些整流二极管的外壳上,标有二极管的符号,带有三角形箭头的一端为正极,另一端则是负极。如图 4-7 所示。

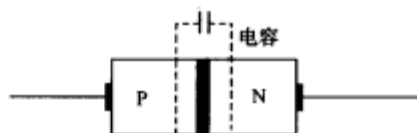


图 4-6 二极管的极间电容

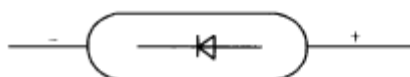


图 4-7 二极管符号标记

(2)观察外壳上的色环。在整流二极管的外壳上,通常标有白色的色环,带色环的一端为负极。

(3)用万用表测量判别。将万用表置于 $R \times 00$ 或者 $R \times 1k$ 挡,先用红、黑表笔任意测量二极管两引脚间的电阻值,然后交换表笔再测量一次。如果二极管是好的,两次测量结果必定出现一大一小。以阻值较小的一次测量为准,黑表笔所接的一端为正极,红表笔所接的一端则为负极。

2) 鉴别质量好坏

整流二极管由于工作电流大,因此,在用万用表检测时,可按下述方法步骤进行。

(1)将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,黑表笔接二极管正极,红表笔接负极,检查被测管的单向导电性。由于 $R \times 1k$ 挡提供的测试电流较小,所以测出的正向电阻应为几千欧至十几千欧。然后交换表笔,测量被测管的反向电阻,正常时应为无穷大。

(2)将万用表置于 $R \times 1$ 挡对管子进行一次复测。 $R \times 1$ 挡所提供的测试电流比较大,所测得的正向电阻应为几至几十欧,反向电阻仍为无穷大。因为整流二极管的 I_F 一般大于 1A,而 $R \times 1$ 挡的最大测试电流仅几十至 100 多毫安,所以测量时不会烧坏被测二极管。

若测得的二极管正向电阻太大或反向电阻太小,都表明二极管的整流效率不高。如果测得正向电阻为无穷大(万用表指针不动),说明二极管的内部断路;若测得的反向电阻接近于零,则表明二极管已经击穿。内部断路或击穿的二极管都不能使用。

3) 检测最高工作频率 f_M

用万用表 $R \times 1k$ 挡进行测试,一般正向电阻小于 $1k\Omega$ 的多为高频管。大于 $1k\Omega$ 的多为低频管。

4) 检测最高反向击穿电压 V_{RM}

对于交流电来说,因为电流正、反向不断变化,因此最高反向工作电压也就是二极管

承受的交流峰值电压。需要指出的是,最高反向工作电压并不是二极管的击穿电压。一般情况下,二极管的击穿电压要比最高反向工作电压高得多(约高一倍左右)。检测二极管反向击穿电压,通常可采用以下几种方法。

方法一:用万用表 $R \times 1k$ 挡测量一下二极管的反向电阻,若万用表指针微动或不动,则被测管的反压能达 150V 以上。反向电阻越小,管子的耐压越低。这是一种粗略的检测方法。

方法二:用测试电路进行测试,测试电路如图 4-8 所示。

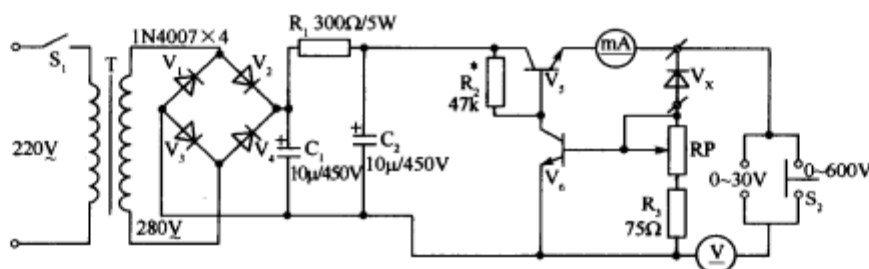


图 4-8 测试二极管反向击穿电压的电路

按此电路也可以制成品管耐压测试仪。它不仅能测量二极管和三极管的反向击穿电压,还可以测试稳压二极管的稳压特性。其特点是安全可靠,测试过程中,即使误将被测管极性接反了也不会损坏管子。

由图 4-8 中可以看出,这实际上是一个简单的可调串联型稳压电路。测试时,先将被测管 V_x 的两个电极接好,把电位器 RP 调到最大值,使输出电压最低, V_x 的反向电流小;然后接通电源开关 S_1 ,逐渐调节 RP ,使其阻值慢慢减小,当加到 V_x 两端的反向电压达到击穿值时, V_x 的反向击穿电流通过 RP 、 R_3 给 V_6 加上一个正向偏压,此时 V_6 开始导通,集电极电位下降,从而使 V_5 的基极电位下降, V_5 的内阻增大, V_{ce} 增大,这样便自动限制了加在 V_x 上的电压值,使其不再继续增大,将击穿电流限定在某一值,起到自动保护被测管的作用。从电压表上可直接读出被测管的耐压值,从电流表上可直接读出击穿电流值。电压表和电流表可使用万用表的电压挡和电流挡代替。

本测试电路的最大测试电压为 320V,最大测试电流为 10mA。要求 V_6 和 V_5 的 BV_{ce} 大于 400V。如果将电源变压器 T 的次级电压提高,还可以用来测更高反压的二极管或三极管,但所用 V_6 和 V_5 的 BV_{ce} 值也要相应提高,另外,如果将电源电压降为几十伏,可不改变电路结构,即能很方便地测试反向击穿电压低的管子。

4. 常见整流二极管介绍

近年来,1N 系列二极管在各种电子产品中得到了广泛的应用,这类管子的突出特点是体积小、价格低、性能优良。1N 系列塑封硅整流二极管的典型产品有 1N4001~1N4007(1A)、1N5391~1N5399(1.5A)、1N5400~1N5408(3A)。主要技术指标见表 4-1。

二、整流桥组件

整流桥组件是由几只整流二极管组合在一起的二极管组件,主要分为全桥组件和半桥组件两种。

表 4-1 硅整流二极管主要技术指标

型号	最高反向工作电压/V	额定整流电流/A
1N4001	50	1.0
1N4002	100	
1N4003	200	
1N4004	400	
1N4005	600	
1N4006	800	
1N4007	1000	
1N5391	50	1.5
1N5392	100	
1N5393	200	
1N5394	300	
1N5395	400	
1N5396	500	
1N5397	600	
1N5398	800	
1N5399	1000	
1N5400	50	3.0
1N5401	100	
1N5402	200	
1N5403	300	
1N5404	400	
1N5405	500	
1N5406	600	
1N5407	800	
1N5408	1000	

1. 全桥组件

1) 全桥组件的结构

全桥组件是一种把四只整流二极管按全波桥式整流电路连接方式封装在一起的整流组合件,内部电路和电路符号如图 4-9 所示。

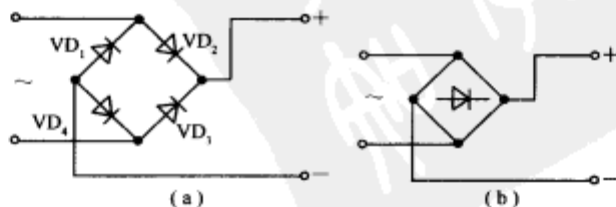


图 4-9 全桥组件的内部电路和电路符号

全桥组件的优点是使用方便,它的外部只有四条引线。不足之处是全桥组件内部若有一只二极管损坏,则会影响整个组件的工作。

2)全桥组件的主要参数

由于整流全桥组件是由二极管组成的,因而选用全桥组件时可参照二极管的参数。它的主要参数有两项:额定正向整流电流 I_0 和反向峰值电压 U_{RM} 。常见国产全桥组件的正向电流为 $0.05A\sim100A$,反向峰压为 $25V\sim1000V$ 。下面简要介绍这两项参数的标注方法。

(1)直接用数字标注。

例如:QL1A/100 或者 QL1A100,表示正向电流为 $1A$,反向峰压为 $100V$ 的全桥组件。

(2)用字母表示 U_{RM} ,数字标明 I_0 值。

有些全桥组件的型号中, I_0 值用数字标明, U_{RM} 不直接用数字表示,而用英文字母 A~M 代替,见表 4-2。

表 4-2 U_{RM} 的字母表示法

字母	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
电压/V	25	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

例如:QL2AF 则表示一个电流为 $2A$ 、峰压为 $400V$ 的全桥。

(3)字母表示 U_{RM} ,数字码代表 I_0 。

不少型号的全桥组件只标电压的代表字母,而不表明具体的电流值,对于这些全桥可以去查产品手册。例如:QL2B 查手册后知道是 $0.1A$ 、 $50V$ 的全桥。

此外,市场上还有大量进口的全桥组件。其中有些可从它们的型号上直接读出 U_{RM} 和 I_0 数值。例如:RB156 为 $1.5A$ 、 $600V$ 全桥。对于型号较为复杂的全桥组件,选用时应查阅相关的产品手册。

3)全桥组件的管脚排列规律

长方体全桥组件输入、输出端直接标注在面上,如图 4-10 所示。“~”为交流输入端,“+”、“-”为直流输出端。

圆柱体全桥组件的表面若只标“+”,那么在“+”的对面是“-”极端,余下两脚便是交流输入端,如图 4-11 所示。

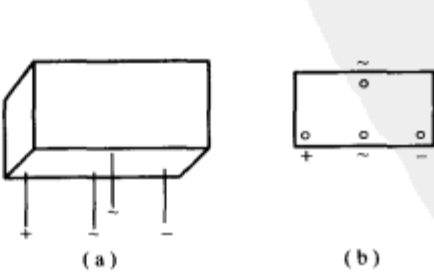


图 4-10 长方体全桥组件的管脚排列

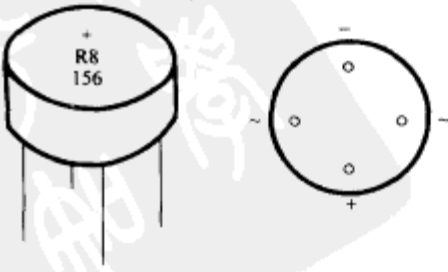


图 4-11 圆柱形全桥组件的管脚排列

扁形全桥组件除直接标正、负极与交流接线符号外,通常以靠近缺角端的引脚为正(部分国产的为负)极,中间为交流输入端,如图 4-12 所示。

大功率方形全桥组件这类全桥由于工作电流大,使用时要另外加散热器。散热器可由中间圆孔加以固定。此类产品一般不印型号和极性,可在侧面边上寻找正极标记,如图 4-11 所示。正极的对角线上的引脚是负极端,余下两引脚接交流端。

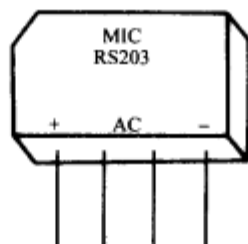


图 4-12 扁形全桥组件的管脚排列

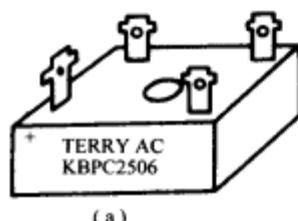
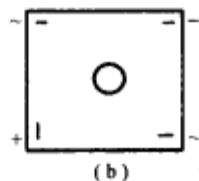


图 4-13 方形全桥组件的管脚排列



(4) 全桥组件的检测方法

(1) 判别极性。若全桥组件的极性未标注或标记不清,可用万用表进行判断,将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,黑表笔任意接全桥组件的某个引脚,用红表笔分别测量其余 3 个引脚,如果测得的阻值都为无穷大,则此时黑表笔所接的引脚为全桥组件的直流输出正极;如果测得的阻值都为 $4k\Omega \sim 10k\Omega$ 左右,则此时黑表笔所接的引脚为全桥组件的直流输出负极,剩下的两个引脚就是全桥组件的交流输入脚。

(2) 判定好坏。根据全桥组件的内部结构图(如图 4-14),可用万用表方便地进行判断。

首先将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,测量一下全桥组件交流电源输入端③、④脚的正、反向电阻值。由图可以看出,无论红、黑表笔怎样交换测量,由于左右每边的两个二极管都有一个处于反向接法,所以良好的全桥组件③、④脚之间的电阻值都应为无穷大。当 4 个二极管之中有 1 个击穿或漏电时,都会导致③、④脚之间的电阻值变小。因此,当测得③、④脚之间的电阻值不是无穷大时,说明全桥组件中的 4 个二极管中必定有一个或多个漏电。当测得的阻值只有几千欧时,说明全桥组件中有个别二极管已经击穿。只测③、④脚之间的电阻值,

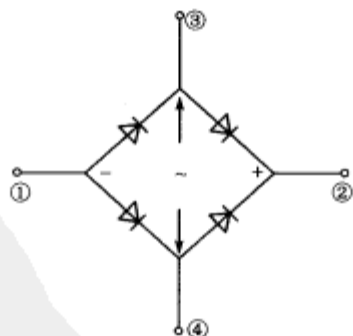


图 4-14 全桥组件的内部结构图

对于全桥组件中的开路性故障和正向电阻变大等性能不良的故障还检查不出来。因此,在测完③、④脚的电阻值以后,还需要测量①、②脚之间的正向电阻加以判断。用万用表 $R \times 1k$ 挡进行测试,①、②脚之间的正向电阻值一般在 $8k\Omega \sim 10k\Omega$ 之间,如果测得①、②脚之间的正向电阻值小于 $6k\Omega$,说明 4 个二极管中有一个或两个已经损坏。如果测得①、②脚间的正向电阻值大于 $10k\Omega$,则说明全桥组件中的二极管存在正向电阻变大或开路性故障。

2. 半桥组件

半桥组件是把两只整流二极管按一定方式连接起来并封装在一起的整流器件,半桥组件的外部外形和内部结构如图 4-15 所示。不要把它误当作全桥组件来使用。

在电路中,可用 1 个半桥堆组成全波整流电路或用 2 个半桥堆组成全波桥式整流电

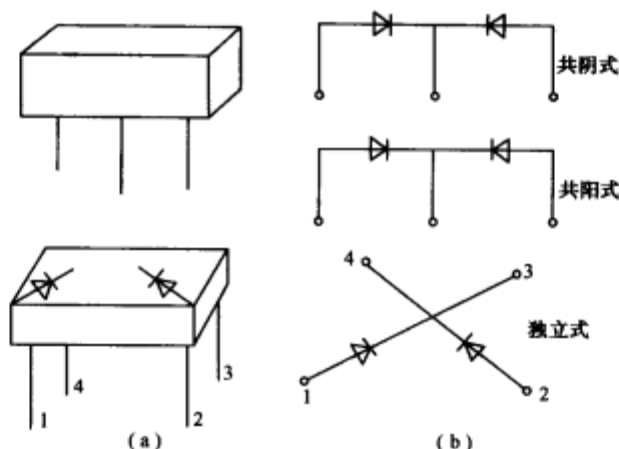


图 4-15 半桥组件的外形和内部结构

(a)外形；(b)内部结构。

路。半桥组件的检测可根据其内部结构按二极管的检测方法进行。

三、高压硅堆

高压硅堆又叫硅柱。它是一种硅高频高压整流二极管。工作电压在几千至几万伏之间。常用于黑白电视机或其他电子仪器中作高频高压整流。它之所以能有如此高的耐压本领,是因为它的内部是由若干个硅高频二极管的管芯串联起来组合而成的。外面用高频陶瓷进行封装,如图 4-16 所示。

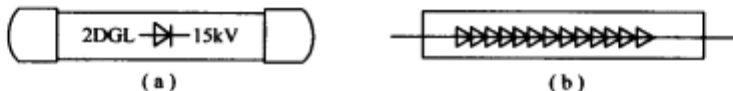


图 4-16 高压硅堆的外形及内部原理图

高压硅堆的反向峰值电压,取决于管芯的个数与每个管芯的反向峰值电压。常见型号有 2DGL 和 2CGL 系列。例如硅柱 2DGL 封装面上标上 15kV,表示它的最高反向峰值电压为 15kV。判断硅堆好坏及正、负极性,必须用万用表 $R \times 10k$ 挡。测其正向电阻时,表针略有摆动,大约为几百千欧;测其反向电阻为 ∞ ,表针应不动。

第三节 快恢复/超快恢复、开关和肖特基二极管的检测

一、快恢复/超快恢复二极管

1. 快恢复/超快恢复二极管的特性

快恢复二极管(FRD)、超快恢复二极管(SRD)是近年来面市的半导体器件。它具有开关特性好、反向恢复时间短、正向电流大、体积较小、安装简便等优点。可作高频、大电流的整流、续流二极管,在开关电源、脉宽调制器(PWM)、不间断电源(UPS)、高频加热、交流电机变频调速等电子设备中得到了广泛的应用。

快恢复、超快恢复二极管的一个重要参数是反向恢复时间 t_{rr} ，其定义是：电流流过零点由正向转换成反向，再由反向转换到规定的值 I_{rr} 时的时间间隔。它是衡量高频续流、整流器件性能的重要技术参数。 t_{rr} 的定义可由图 4-17 所示的反向恢复电流的波形加以说明。

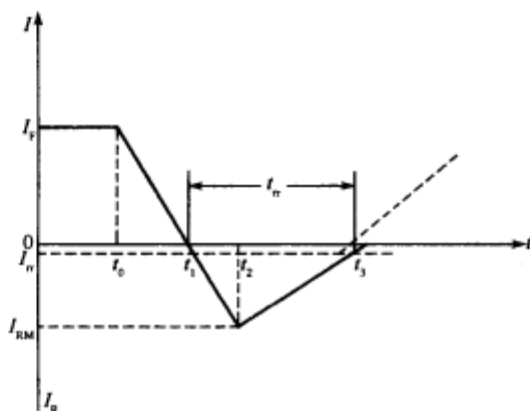


图 4-17 反向恢复电流波形

图 4-17 中， I_F 为正向电流， I_{RM} 为最大反向恢复电流， I_{rr} 是反向恢复电流。通常规定 $I_{rr}=0.1I_{RM}$ 。当 $t=t_0$ 时，正向电流 $I=I_F$ ，当 $t>t_0$ 时，由于整流器件上的正向电压突然变成反向电压，因此正向电流迅速降低，并在 $t=t_1$ 时刻， $I=0$ 。然后整流器件上流过反向电流 I_R ，并且 I_R 逐渐增大，在 $t=t_2$ 时刻达到最大反向恢复电流 I_{RM} 值，此后受正向电压的作用，反向电流逐渐减小，在 $t=t_3$ 时刻达到规定值 I_{rr} 。从 t_2 到 t_3 的反向恢复过程与电容器的放电过程比较相似。快恢复二极管的反向恢复时间 t_{rr} 一般为几百纳秒，正向压降约 0.6V，正向电流达几安至几千安，反向峰值电压为几百到几千伏。超快恢复二极管反向恢复时间更短，可低至几十纳秒。

2. 快恢复/超快恢复二极管的外形及符号

20A~30A 以下的快恢复/超快恢复二极管大多采用 TO-220 封装。30A 以上的管子一般采用 TO-3P 金属壳封装。更大容量的管子（几百安至几千安）则采用螺栓形或平板形封装。从内部结构看，可分成单管、对管（亦称双管）两种。在对管内部包含两只快恢复二极管，根据两管接法的不同，又有共阴对管、共阳对管之分。

图 4-18(a) 是 C20-04 型快恢复二极管（单管）的外形及符号。(b)、(c)、(d) 分别是 C92-02（共阴对管）、MUR1680A（共阳对管）、MUR3040PT（共阴对管，管顶带小散热板）超快恢复二极管外形与符号。它们均采用 TO-220 塑料封装。

3. 快恢复/超快恢复二极管的检测

用万用表检测快恢复/超快恢复二极管的方法基本与检测塑封硅整流二极管的方法相同。即先用 $R \times 1k$ 挡检测一下其单向导电性，一般正向电阻为 $4.5k\Omega$ 左右，反向电阻为无穷大；再用 $R \times 1$ 挡复测一次，一般正向电阻为几欧，反向电阻仍为无穷大。

4. 快恢复/超快恢复二极管使用注意事项

- (1) 有些单管有 3 个管脚，中间的为空脚，一般在出厂时剪掉，但也有不剪的。
- (2) 若在对管中有一只管子损坏，则可作单管使用。

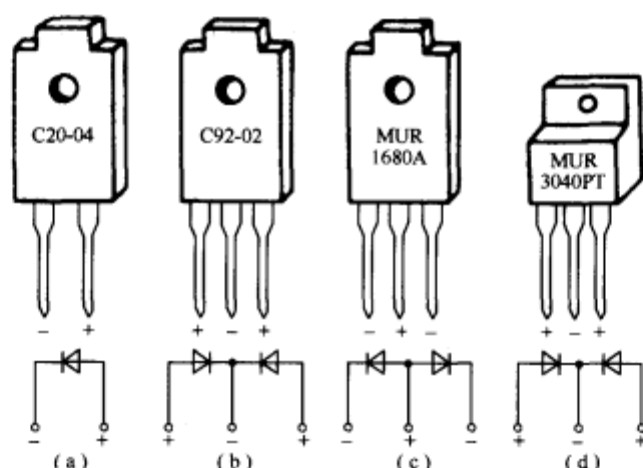


图 4-18 快恢复二极管的外形及符号

(3)在彩色电视机和多频显示器的开关电源的输出电路和行输出电路中,整流二极管和行输出阻尼二极管大都在 15.6kHz 或 31.5kHz 以上的高频电路中工作,电路不仅要求二极管有足够的耐压,而且还要求二极管具有良好的开关特性,即具有很短的反向恢复时间,因此必须使用快恢复/超快恢复二极管。如果采用普通整流二极管,由于此类二极管的反向恢复时间太长,当某一周期的行脉冲正向导通后,二极管还来不及反向截止,反向脉冲部分就已经涌来了,这势必给此类二极管造成较大的反向电流,使二极管结间温度上升。结间温度上升又会使反向电流增大、耐压降低,最终导致二极管击穿。因此,不易采用普通整流二极管代换快恢复二极管。

5. 常见快恢复/超快恢复二极管介绍

常见快恢复/超快恢复二极管主要技术指标见表 4-3。

表 4-3 快恢复/超快恢复二极管主要技术指标

型 号	最高反向工作电压/V	平均整流电流/A	反向恢复时间/ μs
ES1A	400	0.75	1.5
EU1	400	0.35	0.4
EU01A	600	0.35	0.4
EU2	400	1	0.3
EU2Z	200	1	0.3
EU3A	600	1.5	0.4
RC2	100	1	0.4
RU2	600	1	0.4
RU3	800	1.5	0.4
S5295G	400	0.5	0.4
S5295J	600	0.5	0.4
RGP10	600	1	0.4
SM1-02FRA	200	0.8	0.4
TVR06	400	0.6	0.3
V09	400	0.8	0.4
V09C	200	0.8	0.4
IS2471	60	0.15	0.03
3JH61	600	3	0.2

二、硅高速开关二极管

1. 硅高速开关二极管的特性

硅高速开关二极管是近年来从国外引进的一种新型二极管。它的突出特点是具有良好的高频开关特性,其反向恢复时间 t_{rr} 仅几纳秒。由于它的体积非常小,价格又非常便宜,所以很快在国内电子领域得到了推广应用,目前,这种二极管已被广泛用于电视机、各种仪器仪表、控制电路以及各类高频电路中。

表 4-4 列出了硅高速开关二极管的典型产品 1N4148 和 1N4448 的主要参数。

表 4-4 硅高速开关二极管的技术指标

型号	最高反向工作电压/V	平均整流电流/A	反向恢复时间/ns
1N4148	75	0.15	4
1N4448	75	0.15	4

2. 硅高速开关二极管的检测

检测硅高速开关二极管的方法与检测普通二极管的方法相同。但要注意,这种管子的正向电阻较大。用 $R \times 1k$ 挡测量,一般正向电阻值为 $5k\Omega \sim 10k\Omega$,反向电阻值为无穷大。

1N4148 和 1N4448 硅高速开关二极管可代替国产 2CK43、2CK44、2CK70~2CK73、2CK77、2CK83 等型号的开关二极管。但使用时必须要注意,因 1N4148、1N4448 型硅高速开关二极管的平均电流只有 150mA,所以仅适于在高频小电流的工作条件下使用,绝对不能用在开关稳压电源等高频大电流的电路中。否则,会导致电路不能正常工作或将管子烧毁。

三、肖特基二极管

1. 肖特基二极管的特性

肖特基(Schottky)二极管属于低功耗、大电流、超高速半导体器件,其反向恢复时间可小到几个纳秒,正向导通压降仅 0.4V 左右,而整流电流却可达到几千安。

典型肖特基二极管的内部结构如图 4-19 所示。

它以 N 型半导体为基片,在上面形成用砷作掺杂剂的 N- 外延层。阳极(阻挡层)金属材料是钼。二氧化硅(SiO_2)用来消除边缘区域的电场,提高管子的耐压值。N 型基片掺杂浓度比 N- 层高 100 倍,具有很小的通态电阻。基片下部的 N+ 阴极层用以减小阴极的接触电阻。通过调整结构参数,可在基片与阳极金属之间形成合适的肖特基势垒。

可见,肖特基二极管与 PN 结二极管在构造原理上有很大区别。这种管子的缺点是反向耐压较低,一般不超过 100V,适宜在低电压、大电流的条件下工作,电脑主机电源的输出整流二极管就采用了肖特基二极管。

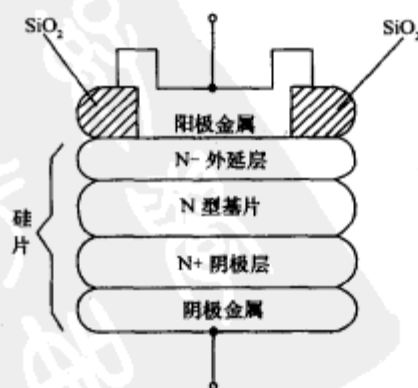


图 4-19 肖特基二极管的结构

2. 肖特基二极管的检测

图 4-20 是一只待测肖特基二极管,要判断出该管三个管脚的功能,可按以下方法进行检测。测试时,将万用表置于 $R \times 1$ 挡。

(1)测量①、③脚正反向电阻值均为无穷大,说明这两个电极无单向导电性。

(2)黑表笔接①脚,红表笔接②脚,测得的阻值为无穷大;红、黑表笔对调后测得阻值为几欧,说明②、①两脚具有单向导电特性,且②脚为正,①脚为负。

(3)将黑表笔接③脚,红表笔接②脚,测得阻值为无穷大,调换红、黑表笔后测得阻值为几欧,说明②、③两脚具有单向导电特性,且②脚为正,③脚为负。

根据上述三步测量结果,可知被测管内部结构如图 4-21 所示。可见,该管为一只共阳对管,②脚为公共阳极,①、③脚为两个阴极。

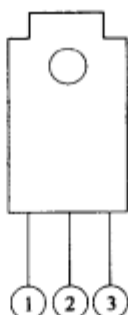


图 4-20 被测肖特基二极管的外形

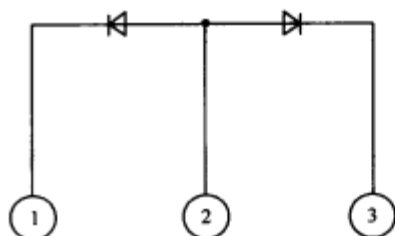


图 4-21 被测肖特基二极管的内部电路

第四节 稳压二极管的检测

稳压二极管又称齐纳二极管,简称稳压管,是一种用于稳压(或限压)、工作于反向击穿状态的特殊二极管。而整流二极管一般不能工作在反向击穿区,但稳压管却工作在反向击穿区。稳压管的外形与整流二极管相同。在电路中常用字母 ZD 表示。电路符号如图 4-22 所示。

一、稳压管的特性

稳压管的伏安特性曲线如图 4-23 所示。

由图 4-23 可见,其正向特性和普通二极管相似,而反向特性则有所不同。反向电压从零到 U_A 这一段,稳压管的反向电流接近于零,特性曲线近似是一条平行于横轴的直线;当反向电压升高到 U_A 时,管子开始击穿。如果继续增大反向电压,即使是微小的增加,稳压管的反向电流也急剧增加(在图中由 A 点经 B 点向 C 点方向),在特性曲线的 BC 段,虽然流过稳压管的电流变化很大,但对应的电压变化却很小。也就是说,当稳压管在 BC 段工作时,不管电流如何变化,稳压管两端的电压基本维持不变。稳压管就是利用反向击穿区的这一特性进行稳压的。只要击穿电流限制在一定范围内,稳压管虽然被击穿,却并不损坏。



图 4-22 稳压管的
电路符号

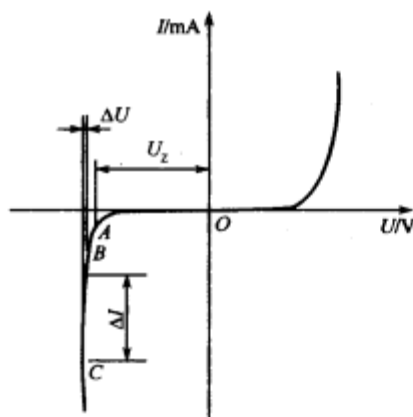


图 4-23 稳压管的伏安特性曲线

由于硅管的热稳定性好,所以一般稳压二极管都用硅材料做成。

二、稳压管的选择及应用

选用稳压管要根据具体电路考虑。在图 4-24 所示的简单并联稳压电源中,输出电压就是稳压管的稳定电压。当负载开路时,流过稳压管的电流达到最大,这个电流应小于稳压管的最大稳定电流 I_{ZM} 。例如制作一个 6V 稳压电源,最大负载电流为 100mA。这时可选用稳定电压为 5.5V~6.5V,最大稳定电流为 150mA 的 2CW104 稳压管。限流电阻 R 可选用 $39\Omega \sim 51\Omega$ 的 1W 电阻。变压器次级电压为 9V~12V。

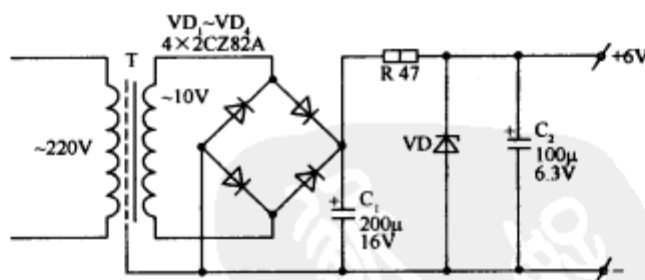


图 4-24 简单并联稳压电路

在图 4-25 所示的串联式稳压电源中,输出电压为稳压管的稳定电压减去 0.7V,流过

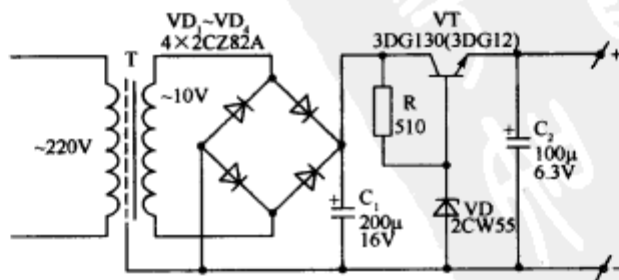


图 4-25 串联稳压电路

稳压管的电流由电阻 R 控制,与电源输出电流大小基本无关。这种电源在选用稳压管时,要求管子的稳定电压大于输出电压 0.7V ,对最大稳定电流没有特殊要求。例如要制作一个输出电压等于 6V 、输出电流 100mA 的稳压电源,稳压管可以选用稳定电压在 $6.2\text{V}\sim 7.5\text{V}$ 的稳压管 $2\text{CW}55$ 。电阻 R 的值在 $470\Omega\sim 1\text{k}\Omega$ 均可。变压器次级电压为 $9\text{V}\sim 12\text{V}$ 。

有时买不到稳定电压较低的稳压管,这时可以用普通硅二极管正向导通代替稳压管使用,效果与低电压的稳压管相差不大。例如用两支硅二极管(或两支三极管的 be 结)串联起来,可以当作一个 1.4V 的稳压管使用。此外,如果某稳压管的稳定电压比要求的稳定电压略低时,可以串联硅二极管提高其稳定电压。例如一个 5.3V 的稳压管与一个硅二极管串联,如图 4-26 所示,就可以得到一个 6V 的稳压管了。

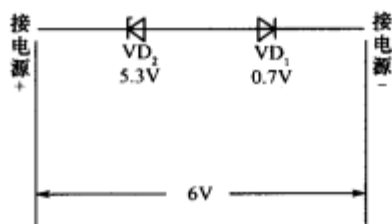


图 4-26 稳压管与普通二极管串联使用

三、稳压二极管的检测

1. 判断电极

判别稳压二极管正、负电极的方法,与判别普通二极管电极的方法基本相同。即用万用表 $R\times 1\text{k}$ 挡,先将红、黑两表笔任接稳压管的两端,测出一个电阻值,然后交换表笔再测出一个阻值,两次测得的阻值应该是一大一小。所测阻值较小的一次,即为正向接法,此时,黑表笔所接一端为稳压二极管的正极,红表笔所接的一端则为负极。好的稳压管,一般正向电阻为 $10\text{k}\Omega$ 左右,反向电阻为无穷大。

2. 稳压二极管与普通二极管的鉴别

常用稳压二极管的外形与普通小功率整流二极管的外形基本相似。当其壳体上的型号标记清楚时,可根据型号加以鉴别。当其型号标志脱落时,可使用万用表电阻挡很准确地将稳压二极管与普通整流二极管区别开来。具体方法是:首先把被测管的正、负电极判断出来。然后将万用表拨至 $R\times 10\text{k}$ 挡上,黑表笔接被测管的负极,红表笔接被测管的正极,若此时测得的反向电阻值比用 $R\times 1\text{k}$ 挡测量的反向电阻值小很多,说明被测管为稳压管;反之,如果测得的反向电阻值仍很大,说明该管为整流二极管或检波二极管。这种判别方法的原理是,万用表 $R\times 1\text{k}$ 挡内部使用的电池电压为 1.5V ,一般不会将被测管反向击穿,所以测出的反向电阻值比较大。而用 $R\times 10\text{k}$ 挡测量时,万用表内部电池的电压一般都在 9V 以上,当被测管为稳压管,且稳压值低于电池电压值时,即被反向击穿,使测得的电阻值大为减小。但如果被测管是一般整流或检波二极管时,则无论用 $R\times 1\text{k}$ 挡测量还是用 $R\times 10\text{k}$ 挡测量,所得阻值将不会相差很悬殊。注意,当被测稳压二极管的稳压值高于万用表 $R\times 10\text{k}$ 挡的电压值时,用这种方法是无法进行区分鉴别的。

3. 三个管脚稳压二极管与三极管的鉴别

目前,部分稳压管有三个电极,如国产的 $2\text{DW}7$ 稳压管,外形很像三极管。如图 4-27 所示。

从内部结构图可见, $2\text{DW}7$ 实际上是由两只封装在一体的稳压二极管组成的。采用

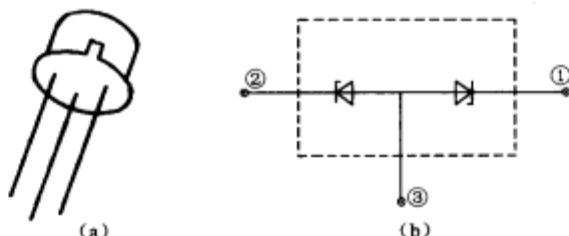


图 4-27 三个电极稳压管的外形及内部电路

(a)外形; (b)内部结构。

这种结构的目的是为了使两只稳压管的温度系数互相抵消。同时,两只管子的性能做的比较对称,提高了其稳定性能。根据 2DW7 具有对称性这一特点,可以很方便地将其鉴别出来。具体方法是:

将万用表首先置于 $R \times 10$ 或 $R \times 100$ 挡,黑表笔接管子的任意一个电极,用红表笔依次接触其余的两个电极,如果所测得的电阻值均为几百欧且比较对称,则可初步断定被测管为稳压管,而且黑表笔所接的为中心引脚③。然后再将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,红表笔接③脚,黑表笔依次接触其余两个电极,若阻值都为很小而且比较对称,可进一步证明该管为稳压管。反之,若用 $R \times 10$ 挡或 $R \times 100$ 挡测出①、②脚对③脚虽然有较小的正向电阻,但很不对称,而且用 $R \times 10k$ 挡复测时也无击穿(阻值变小)的现象,则说明被测管为三极管。需要注意的是,由于有些三极管发射结的反向击穿电压比较低,一般不允许用 $R \times 10k$ 挡进行测量。否则,容易将管子击穿,因此,如果用 $R \times 10$ 或 $R \times 100$ 挡已基本能鉴别出被测管为三极管时,则不必再用 $R \times 10k$ 挡进行复测,以免将管子损坏。

4. 稳压二极管稳压值的检测

由于稳压二极管是工作于反向击穿状态下,所以,用万用表可以测出其稳压值大小。常用方法有两种。

1) 简易测试法

这种方法只需一块万用表即可,方法是:将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,并准确调零。红表笔接被测稳压管的正极,黑表笔接被测管的负极,待指针摆到一定位置时,从万用表直流 10V 电压刻度上读出其稳定的数据。然后用下列公式计算稳压值:被测稳压值(V) = $(10V - \text{读数}) \times 1.5$ 。用此法可以测出稳压值为 15V 以下的稳压管。

2) 外接电源测试法

用一台 0V~30V 稳压电源与一个 $1.5k\Omega$ 电阻,按图 4-28 连接。

测量时,先将稳压电源的输出电压调在 15V,用万用表电压挡直接测量 ZD 两端电压值,读数即为稳压二极管稳压值。若测得的数值为 15V,则可能该二极管并未反向击穿,这时可将稳压电源的输出电压调高到 20V 或以上,再按上述方法测量。



图 4-28 稳压管外接电源测试法

四、常见稳压二极管介绍

常见稳压二极管主要技术指标见表 4-5。

表 4-5 稳压二极管主要技术指标

型号	最大消耗功率 /W	稳定电压 /V	最大工作电流 /mA	型号	最大消耗功率 /W	稳定电压 /V	最大工作电流 /mA
1N4729	1	3.6	252	1N5994	0.5	5.6	76
1N4730	1	3.9	234	1N5995	0.5	6.2	68
1N4731	1	4.3	217	1N5996	0.5	6.8	63
1N4732	1	4.7	193	1N5997	0.5	7.5	57
1N4733	1	5.1	179	1N5998	0.5	8.2	52
1N4734	1	5.6	162	1N5999	0.5	9.1	47
1N4735	1	6.2	146	1N6000	0.5	10	43
1N4736	1	6.8	138	1N6001	0.5	11	39
1N4737	1	7.5	121	1N6002	0.5	12	35
1N4738	1	8.2	110	1N6003	0.5	13	33
1N4739	1	9.1	100	1N6004	0.5	15	28
1N4740	1	9.4	91	1N6005	0.5	16	27
1N4741	1	11	83	1N6006	0.5	18	24
1N4742	1	12	76	1N6007	0.5	20	21
1N4743	1	13	69	1N6008	0.5	22	19
1N4744	1	15	61	1N6009	0.5	24	18
1N4745	1	16	57	1N6010	0.5	27	16
1N4746	1	18	50	1N6011	0.5	30	14
1N4747	1	20	45	1N6012	0.5	33	13
1N4748	1	22	41	1N6013	0.5	36	12
1N4749	1	24	38	1N6014	0.5	39	11
1N4750	1	27	34	1N6015	0.5	43	10
1N4751	1	30	30	1N6016	0.5	47	9
1N4752	1	33	27	1N6017	0.5	51	8.3
1N4753	1	36	26	1N6018	0.5	56	7.6
1N5985	0.5	2.4	175	1N6019	0.5	62	6.8
1N5986	0.5	2.7	157	1N6020	0.5	68	6.3
1N5987	0.5	3	141	1N6021	0.5	75	5.7
1N5988	0.5	3.3	128	1N6022	0.5	82	5.2
1N5989	0.5	3.6	118	1N6023	0.5	91	4.5
1N5990	0.5	3.9	109	1N6024	0.5	100	4
1N5991	0.5	4.3	99	1N6025	0.5	110	3.9
1N5992	0.5	4.7	90	1N6026	0.5	120	3.5
1N5993	0.5	5.1	83	1N6027	0.5	130	3.3

第五节 变容二极管的检测

一、变容二极管的特性

变容二极管是利用反向偏压来改变 PN 结电容量的特殊半导体器件。它与普通二极管有相同之处,都用 PN 结,但也有重要区别。对于一般的半导体二极管,人们总希望尽

量减小其结电容。对于变容二极管,却是要利用结电容。因为变容二极管的结电容能随外加的反向偏压而变化,所以它被用于调频、扫频及相位控制。图 4-29 是变容二极管的电路符号和 $C-V$ 特性曲线。

由图 4-29 可见,变容二极管结电容的大小与其 PN 结上的反向偏压大小有关。反向偏压越高,结电容越小,且这种关系是呈非线性的。

变容二极管是一个电压控制元件,通常用于振荡电路,与其他元件一起构成 VCO(压控振荡器)。在 VCO 电路中,主要利用它的结电容随反向偏压变化而变化的特性,通过改变变容二极管两端的电压便可改变变容二极管电容的大小,从而改变振荡频率。例如,彩色电视机的电子调谐器,其工作原理就是通过控制直流电压来改变变容二极管的结电容量,以选择某一频道的谐振频率,除此之外,变容二极管还可作为可变电容使用。

图 4-30 为调谐变容二极管的应用电路,图中 VD 为调谐变容二极管, L 为谐振线圈, U 为调谐电压, C 为调整电容, C_1 为隔直电容。通过调谐电压的变化来改变变容二极管的结电容,从而达到改变频率来实现调谐的目的。

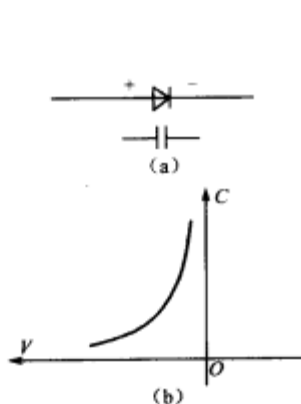


图 4-29 变容二极管的电路符号和 $C-V$ 特性曲线
(a)电路符号; (b) $C-V$ 特性曲线。

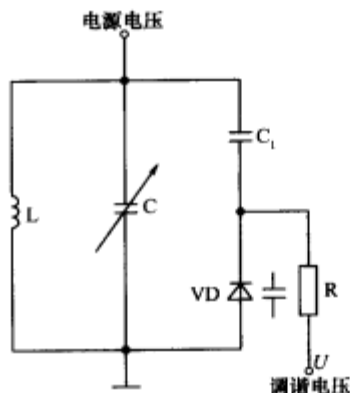


图 4-30 变容二极管应用电路

二、变容二极管的检测

将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,黑表笔接正极,红表笔接负极,所得阻值应为几千欧至 $200k\Omega$ 左右(此值为被测管的正向电阻,且随管子型号不同而异);调换表笔测量(测量管子的反向电阻),其阻值应为 ∞ ,若指针略有偏转,说明管子反向漏电,质量不佳或已损坏。如测得的正反向电阻均为 0 或 ∞ ,则说明被测管已击穿或已开路损坏。

第六节 发光和红外接收二极管的检测

一、发光二极管

发光二极管有多种,较常用的有单色发光二极管、变色发光二极管、闪烁发光二极管、电压型发光二极管、红外发光二极管和激光二极管等。下面分别介绍。

1. 单色发光二极管

1) 单色发光二极管的外形及符号

单色发光二极管(LED)是一种将电能转化为光能的半导体器件,其电路图形符号和外形如图 4-31 所示。

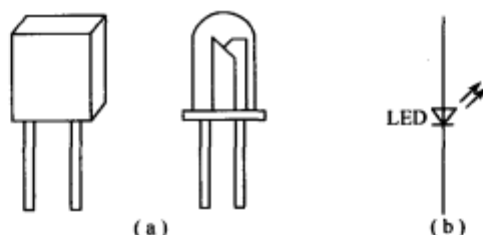


图 4-31 单色发光二极管的外形及电路符号

(a)外形; (b)电路符号。

单色发光二极管的内部结构也是一个 PN 结,其伏安特性与普通二极管相似,只是死区电压比普通二极管要大,约 2V。它除了具有普通二极管的单向导电性外,还具有发光能力。当给 LED 加上一定电压后,就会有电流流过管子,同时向外释放光子。根据半导体材料不同,发出不同颜色的光来。例如:磷化镓 LED 发出绿色、黄色光,砷化镓 LED 发出红色光等。

一般情况下,LED 的正向电流为 10mA~20mA,当电流在 3mA~10mA 时,其亮度与电流基本成正比,但当电流超过 25mA 后,随电流的增加,亮度几乎不再加强。超过 30mA 后,就有可能把发光管烧坏,

2) 单色发光二极管正负极的判断

(1)目测法。发光二极管的管体一般都是用透明塑料制成的,所以可以用眼睛观察来区分它的正、负电极。将管子拿起置较明亮处,从侧面仔细观察两条引出线在管体内的形状,较小的一端便是正极,较大的一端则是负极。

(2)万用表测量法。发光二极管的开启电压为 2V,而万用表置于 $R \times 1k$ 挡及其以下各电阻挡时,表内电池电压仅为 1.5V,比发光二极管的开启电压低,管子不能导通,因此,用万用表检测发光二极管时,必须要使用 $R \times 10k$ 挡。置此挡时,表内接有 9V 或 15V 高压电池,测试电压高于管子的开启电压,当正向接入时,能使发光二极管导通。检测时,将两表笔分别与发光二极管的两管脚相接,如果万用表指针向右偏转过半,同时管子能发出一微弱光点,表明发光二极管是正向接入,此时黑表笔所接的是正极,而红表笔所接的是负极。接着再将红、黑表笔对调后与管子的两管脚相接,这时为反向接入,万用表指针应指在无穷大位置不动。如果不管正向接入还是反向接入,万用表指针都偏转某一角度,甚至为零,或者都不偏转,则表明被测发光二极管已经损坏。

3) 单色发光二极管的修理

有些发光二极管损坏后是可以修复的。具体方法是:用导线通过限流电阻将待修的无光或光暗的发光二极管接到 2V 电源上,左手持尖嘴钳子夹住发光二极管正极引脚的中部,右手持烧热的电烙铁在发光二极管正极引脚的根部加热,待引脚根部的塑料开始软化时,右手稍用力把管脚往内压,并注意观察效果;对于不亮的发光二极管,可以看到开始发光;对于发光微弱的二极管,则能看到亮度逐渐增加。操作时,只要适当控制电烙铁加

热的时间及对二极管引脚所施加力的大小,就可以使发光二极管的发光强度恢复到接近同类正品管的水平。

2. 变色发光二极管

1) 变色发光二极管的外形及符号

能发出不同颜色光的发光二极管称为变色发光二极管,国产变色发光二极管的典型产品有:红—绿—橙、红—黄—桔红、黄—纯绿—浅绿等。红—绿—橙变色发光二极管的外形及符号如图 4-32 所示。

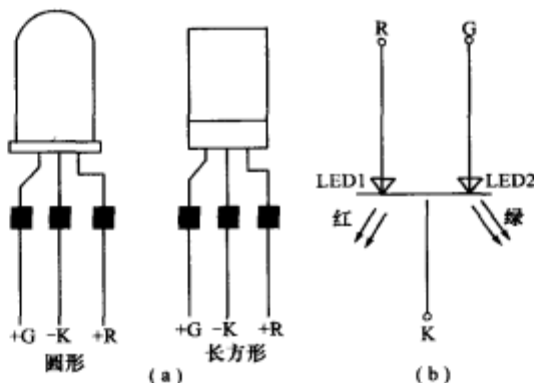


图 4-32 变色发光二极管的外形及符号

(a)外形; (b)电路符号。

2) 变色发光二极管的检测

检测电路如图 4-33 所示。

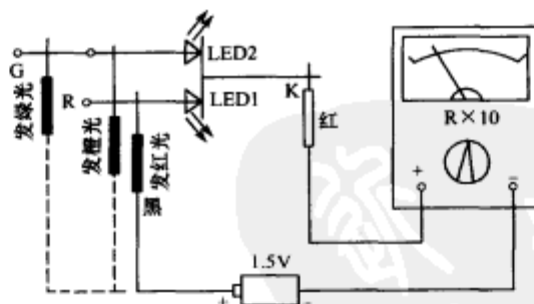


图 4-33 变色发光二极管的检测电路

将万用表置于 $R \times 10$ 挡,在黑表笔上串接一只 1.5V 的电池,将红表笔接 K,黑表笔接 R,管子应发出红色光。将红表笔接 K,黑表笔接 G,管子应发出绿色光。将红表笔接 K,黑表笔接 R 和 G,管子应发出橙色复合光。在测试过程中,若发现某次测量时发光二极管不亮,表明其已经损坏。

3. 闪烁发光二极管

1) 闪烁发光二极管的外形及符号

闪烁发光二极管(BTS)是一种特殊的二极管,主要用于故障过程的控制报警及显示。闪烁发光二极管外形与普通发光二极管相同,但从侧面可看到管芯上还有一条短黑带。这类管子有两种引出方式,一种是长引线为正极,另一种是短引线为正极。电源电压一般

为 3V~5V(也有的为 3V~4.5V)。闪烁发光二极管的外形及电路符号如图 4-34 所示。

闪烁发光二极管由一块 IC 电路和一只发光二极管相连,然后用环氧树脂包封而成。图 4-35 是闪烁发光二极管的内部组成框图。

其工作原理是:振荡器产生一个频率为 f_0 的信号,经过分频器分频后,获得一个频率为 1.3Hz~5.2Hz 的某一固定频率,再由缓冲驱动器进行电流放大,输出一个足够大的驱动电流,使得闪烁发光二极管处于工作状态。

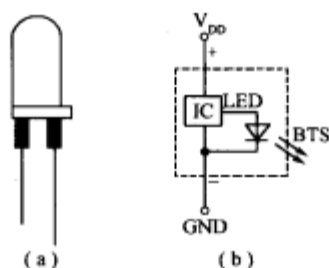


图 4-34 闪烁发光二极管的外形及电路符号
(a)外形; (b)电路符号。

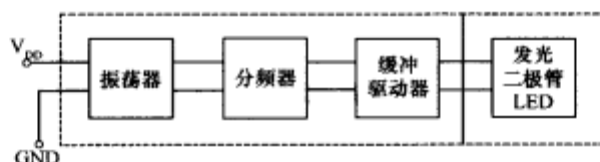


图 4-35 闪烁发光二极管内部框图

使用闪烁发光二极管时无需外接任何元件,只要在两只引出脚上加一定电压,即可自行产生闪烁光,其闪烁频率为 1.3Hz~5.2Hz。使用时要分清闪烁发光二极管的正、负极性,不能接反。

2) 闪烁发光二极管的检测

将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,交换表笔两次接触闪烁发光二极管的两个引脚,仔细观察万用表指针的摆动情况。其中必有一次,指针先向右摆动一个角度,然后在此位置上开始轻轻地抖动(振荡);摆幅在一小格左右。这种现象是由于闪烁发光二极管内部的集成电路在万用表内部 1.5V 电池电压的作用下开始起振工作,输出的脉冲电流使指针产生的抖动,只是因为电压过低,还观察不到发光二极管的闪烁发光,但此现象说明万用表红、黑表笔的接法是正确的接法,即黑表笔所接的引脚为正极,红表笔所接的引脚为负极。

若在检测过程中观察不到以上现象,说明闪烁发光二极管不良。

4. 电压型发光二极管

1) 电压型发光二极管的外形及内部结构

我们知道,一般的发光二极管属于电流型控制器件,使用时必须加限流电阻才能正常发光,这给设计与安装带来不便。最近国内研制出电压型发光二极管,成功地解决了上述问题。

电压发光二极管的外形与普通二极管相同,外形及内部结构如图 4-36 所示。但在其管壳内除发光二极管之外,还用集成一个限流电阻,然后与发光二极管串联,引出两个电极。改变半导体材料中硼杂质的含量,可把限流电阻控制在最佳阻值。使用时只要加上额定电压,即可正常发光。

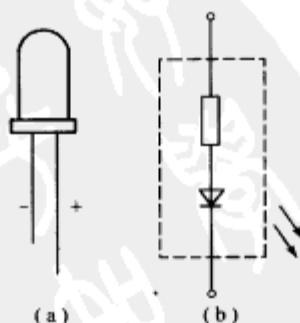


图 4-36 电压型发光二极管的外形及内部结构
(a)外形; (b)内部结构。

电压型发光二极管系列产品共有 6 种标称电压:分别为 5V、9V、12V、15V、18V、24V。发光颜色有红、黄、绿色。

2) 电压型发光二极管的检测

检测电压型发光二极管 BTV 的方法与检测普通发光二极管 LED 的方法基本相同。

将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,红表笔接 BTV 的负极,黑表笔接 BTV 的正极,此时所测阻值为 BTV 的正向电阻值,正常时一般为十几千欧。然后调换表笔测量 BTV 的反向电阻值,正常时为无穷大。对于不知极性的 BTV,用测量正、反向电阻的方法也可准确地判别出其正、负电极,即交换表笔分两次测量 BTV 两引脚间的电阻值,以阻值较小的一次测量为准,黑表笔所接引脚为正极,红表笔所接引脚为负极。

5. 红外发光二极管

1) 红外发光二极管的特性

红外发光二极管是一种能把电能直接转换成红外光能的发光器件,因其在电路中的作用是将红外光辐射到空间中去,所以也称为红外发射二极管;这种管子是用砷化镓(GaAs)材料制成的,也具有半导体 PN 结。其制造工艺和结构形式有多种。通常使用折射率较大的环氧树脂封装,目的是为了提高发光效率。红外发光二极管的峰值波长为 950nm 左右,属于红外波段,其特点是电流与光输出特性的线性较好,生产和使用都较简便,适合于在短距离、小容量和模拟调制系统中使用,被广泛应用于红外线遥控系统中的发射电路。常见红外发光二极管的外形及电路符号如图 4-37 所示。

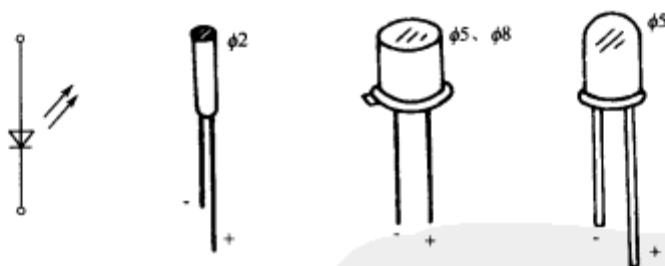


图 4-37 常见红外发光二极管的外形及电路符号

2) 红外发光二极管的正负极的判断

通常长引脚为正极,短引脚为负极。因红外发光二极管呈透明状,所以管壳内的电极清晰可见,内部电极较宽较大的一个为负极,而较窄且小的一个为正极。全塑封装管的侧向呈一小平面,靠近小平面的引脚为负极,另一端引脚则为正极。红外发光二极管的正负极也可方便地用万用表进行判定,方法和判别一般二极管类似。

3) 红外发光二极管好坏的判定

红外发光二极管发出的光波是不可见的,判断红外发光二极管的好坏,可使用万用表测量其正、反向电阻。万用表置于 $R \times 1k$ 挡,若测得正向电阻在 $30k\Omega$ 左右,反向电阻在 $500k\Omega$ 以上者是好的,反向电阻愈大,漏电流愈小,质量愈好。若反向电阻只有几十千欧,这种管子质量差,若正反向阻值都是 ∞ 或 0 时,则管子是坏的。

6. 激光二极管

1) 激光二极管的特性

半导体激光二极管是激光头中的核心器件。目前,在 CD、VCD、DVD 中使用的激光

二极管大多是采用镓铝砷三元化合物半导体激光二极管。它是一种近红外激光管,波长在 780nm(CD/VCD)或 650nm(DVD)左右,这种激光二极管具有体积小、重量轻、功耗低、驱动电路简单、调制方便、耐机械冲击、抗振动等优点。但对过电压、过电流、静电干扰极为敏感,在使用中不加注意,容易使谐振腔局部受损而损坏。下面重点介绍在 CD、VCD 机中应用较为广泛的两种激光二极管。

2) 普通激光二极管及其检测

普通激光二极管主要应用于索尼激光头中,激光二极管主要由半导体激光器、光电二极管、散热器、管帽、管座、透镜及管脚组成。如图 4-38 所示。

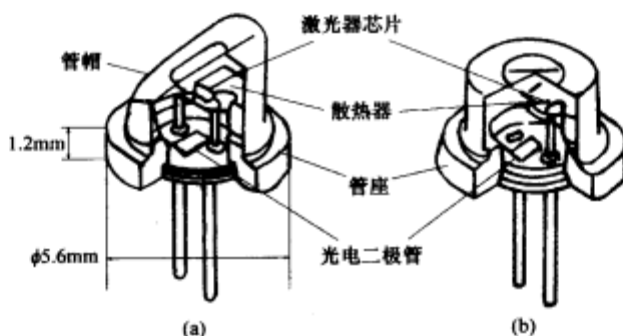


图 4-38 激光二极管的结构

(a)斜头; (b)平头。

普通二极管又分为两种:一种是发射窗为斜面,俗称“斜头”,另一种是发射窗为平面,俗称“平头”。斜头一般用于 CD 唱机,平头一般用于 VCD 机。在管壳底板上的边缘各有一“V”形缺口和一凹形缺口作为定位标记。激光二极管的直径较小,一般为 5.6mm。

半导体激光器置于管内中央的顶端,激光发射面垂直于透镜与光电二极管接收面,其阳极用管脚 A1 引出管座外,阴极通过散热器与管座相连,并用管座上的管脚 K 引出,如图 4-39(a)所示。在管壳顶端安装有透镜,用于补偿激光器的像散,只要在 A1、K 上加上规定的电压(一般为 2V 左右),激光器便产生激光,穿过透镜面发射出激光。半导体激光器振荡时会产生很大的热量,因此,必须在激光二极管上加上散热器。在激光二极管的管座面上装有光电二极管,其接受面朝向半导体激光器,并与激光发射面垂直,阳极用引脚 A2 引出管座外,阴极直接与管座相连,半导体激光器的光束从两端面输出,其中一个端面输出的光束由光电二极管接收,用于监测激光器光输出的变化,并将这一变化反馈到 APC(激光功率自动控制)电路,去控制半导体激光器的驱动电流,使输出光功率保持恒定。普通激光二极管的封装形式有 M、P、N 三种,如图 4-39(b)所示,其中,M 型较常用。

判断激光二极管是否损坏,可采用以下两种方法:

一是电流法。用万用表监测激光二极管驱动电路中负载电路中的压降,或用电流挡串于电路中,估算或测出激光二极管中的电流。正常情况下,此电流应为 35~60mA,当此电流超过 100mA,调节激光功率电位器电流不变化时,可判断激光头中的激光二极管已老化,若出现电流剧增且不可控制,则说明光学谐振腔损坏。

二是电阻法。在断电的情况下测量激光二极管的正反向电阻。正常时反向电阻为无穷大,正向电阻为 20kΩ~36kΩ(使用不同的万用表,所测正向电阻会有所出入),若正向

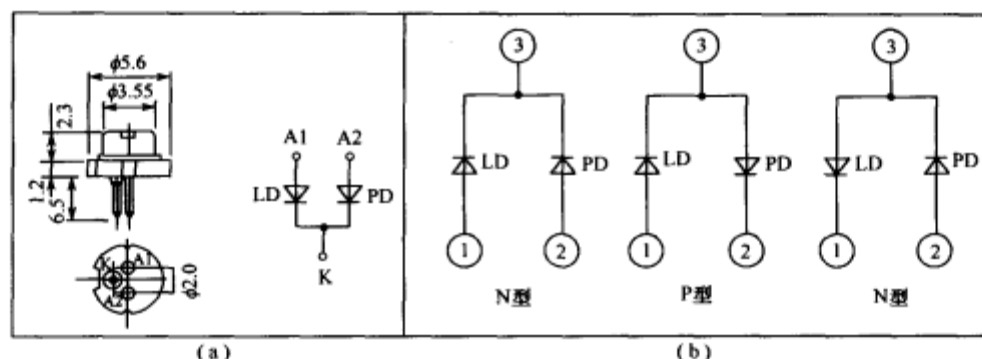


图 4-39 普通激光二极管的封装形式

(a)激光二极管引脚及其等效电路；(b)封装形式。

电阻大于 $50\text{k}\Omega$ 则性能下降,当大于 $90\text{k}\Omega$ 时,已不能使用。

3) 全息照相复合激光二极管

与索尼激光头中的普通激光二极管相比,飞利浦激光头里采用的是一种特殊的激光管——全息照相复合激光管。全息照相复合激光管是在激光二极管发射面的光路中增设了一个衍射光栅,在其顶部增设了一个全息照相镜片,在激光二极管侧面排列了一个光敏接收器,采用了多管脚形式从底座上引出,它的内部结构如图 4-40 所示。

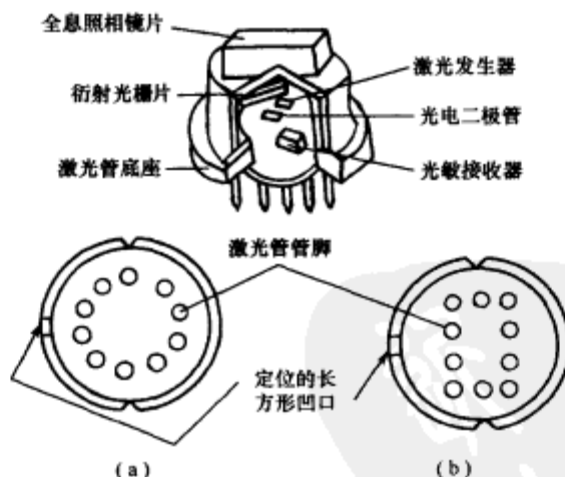


图 4-40 全息照相复合激光二极管内部结构

管脚排列有两种,一种是圆形的,如图 4-40(a)所示;一种是长方形的,如图 4-40(b)所示。常见的型号有 30P2H1PT、30PAH1PT、30PAH3PN、30AJ33N、30PAH1UN、30PAHZGT、30PAJ9TN、30PAFDLT 等。

二、光敏二极管和红外接收二极管

1. 光敏二极管

光敏二极管结构与一般二极管不同之处,在于它的 PN 结装在透明管壳的顶部,可以直接受到光的照射。图 4-41(a)是光敏二极管的符号,它在电路中处于反向偏置状态,如图(b)所示。

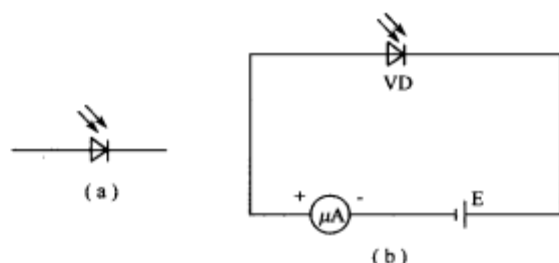


图 4-41 光敏二极管的符号和基本应用电路

(a)图形符号；(b)基本应用电路。

在没有光照时,由于光敏二极管反向偏置,所以反向电流很小,这时的电流称为暗电流。当光照射在二极管的 PN 结上时,在 PN 结附近产生电子—空穴对,并越过 PN 结产生光电流。入射光的照度改变,电子—空穴对的数量也随之改变,光电流也随之改变。

2. 红外接收二极管的特性

红外接收二极管亦称红外光敏二极管,是一种特殊的光电 PIN 二极管,被广泛应用于家用电器的遥控接收器中。这种二极管在红外光线的激励下能产生一定的电流,其内阻的大小由入射的红外光来决定。不受红外光照射时,内阻较大,为几兆欧以上,受红外光照射后内阻减小到几千欧。由于红外接收二极管的输出阻抗非常高(约 $1\text{M}\Omega$),所以在用于遥控接收器时,要使它同接口的集成电路及其他元件的阻抗实现良好匹配,并要合理配置元器件的安装位置及布线。这样才能防止受到空间杂散电波的影响,保证遥控接收器的正常工作。

红外接收二极管的灵敏点是在 940nm 附近,这与红外发光二极管的最强波长正好是相对应的。而对波长更长和更短的光线的响应则是急剧下降的。这一点是靠红外接收二极管具有较小的结电容来实现的。此外,红外接收二极管的接收指向范围较宽,且具有良好的分光灵敏度,能滤除外来无用光信号的干扰。

常用红外接收二极管的外形及内部结构如图 4-42 所示。

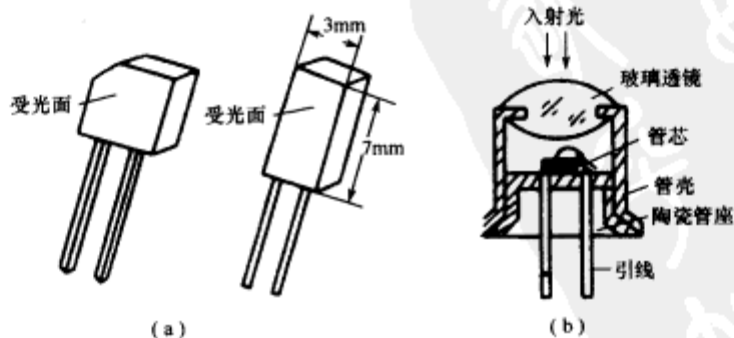


图 4-42 常用红外接收二极管的外形及内部结构

(a)外形；(b)内部结构。

3. 红外接收二极管的检测

1) 识别管脚极性

(1)从外观上识别。常见的红外接收二极管外观颜色呈黑色。识别管脚时,面对受光窗口,从左至右,分别为正极和负极。另外,在红外接收二极管的管体顶端有一个小斜切平面,通常带有此斜切平面一端的管脚为负极,另一端则为正极。

(2)用万用表电阻挡测试。将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,用交换红、黑表笔两次测量管子两管脚间的电阻值,正常时,所得阻值应为一大一小。以阻值较小的一次为准,红表笔所接的管脚为负极,黑表笔所接的管脚为正极。

2)检测性能好坏

判别管子的好坏,通常采用以下两种方法。

(1)用万用表电阻挡测量红外接收二极管正、反向电阻,根据正、反向电阻值的大小,即可初步判定红外接收二极管的好坏。将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,正常时,红外接收二极管的正向电阻力 $3k\Omega \sim 4k\Omega$,反向电阻应大于 $500k\Omega$ 。否则,说明管子性能不良。

(2)将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,红表笔接被测红外接收二极管的正极,黑表笔接负极。此时,电阻为 $500k\Omega$ 以上。用一个好的彩电遥控器正对着红外接收二极管的受光窗口,距离为 $5mm \sim 10mm$ 。当按下遥控器上的按键时,若红外接收二极管性能良好,一般万用表指示的电阻值应由 $500k\Omega$ 以上减小到 $50k\Omega \sim 100k\Omega$ 。被测管子的灵敏度越高,阻值会越小。用这种方法挑选性能优良的红外接收二极管十分方便,且准确可靠。用此法也可以方便地区分出发光二极管和接收二极管。

第七节 其他二极管的检测

一、检波二极管

检波二极管的作用是把原来调制在高频无线电电波中的低频信号取出来。检波也叫解调。检波一般是对高频小信号而言,也是利用二极管的单向导电特性进行的。检波二极管广泛应用于收音机、电视机、收录机及通信设备中。

检波二极管因工作频率较高,处理信号幅度较弱,因此要求结电容小、频率特性好,正向压降小,效率高,通常多用锗材料点接触式结构,常用国产检波二极管型号主要是 $2AP \times$ 、 $2AP \times \times$ 、 $2AP \times \times \times$ 等,均为锗二极管,常用进口检波二极管有 1N60 等型号。

超外差式收音机中用于检波的二极管电路,其输入电路是收音机中放级的输出端或高放输出端,检波器件通常由一个检波二极管组成,它的后级为时间常数较小的 RC 高频滤波器。为了得到检波后的不失真音频信号,滤波电容的容量都不能太大,只要能将高频成分滤掉就行,滤波电容一般为十几皮法至几十纳法。由于检波二极管工作频率较高,通过的信号电流很小,因此,一般都使用锗材料点接触型的检波二极管,如 $2AP9$ 、 $2AP10$ 。检波电路的后面为低放电路。图 4-43 是一种超外差式晶体管收音机中的检波电路。它与半波整流电路相似,只是检波器后面接的滤波器参数不同。 C_1 、 C_2 、 R_1 为高频滤波器,检波后的低频信号由 RP 送至低放级。

二、瞬态电压抑制二极管(TVS)

1. 瞬态电压抑制二极管的特性

瞬态电压抑制二极管,是一种安全保护器件。这种器件应用在电路系统,例如电话交

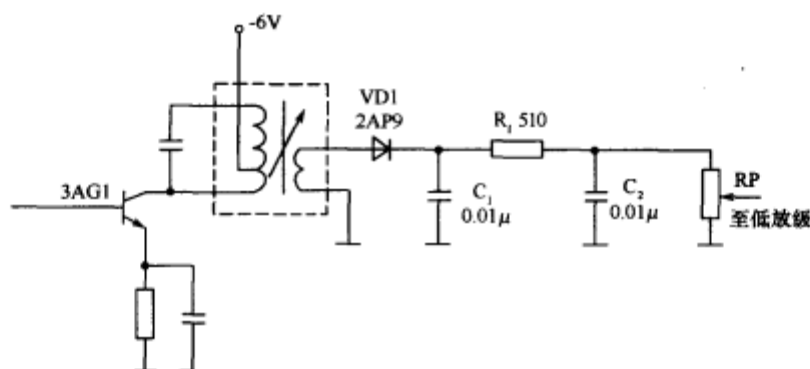


图 4-43 检波二极管的应用电路

换机、仪器电源电路中,对电路中瞬间出现的浪涌电压脉冲起到分流、钳位作用,可以有效地降低由于雷电、电路中开关通断时感性元件产生的高压脉冲,避免高压脉冲损坏仪器设备,保障人和财产的安全。目前国外仪器设备中常用这种保护器件,它以优良的性能被电路设计者所采用。

瞬态电压抑制二极管主要由芯片、引线电极、管体三部分组成,外形和内部结构如图 4-44 所示。

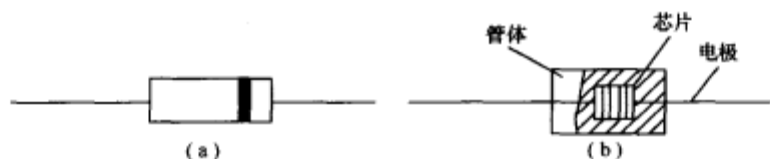


图 4-44 瞬态电压抑制二极管的外形和内部结构

(a)外形; (b)内部结构。

芯片是核心,它是由半导体硅材料扩散而成的,芯片有单极型和双极型两种结构。单极型有一个 PN 结,如图 4-45(a)所示;双极型有两个 PN 结,如图(b)所示。

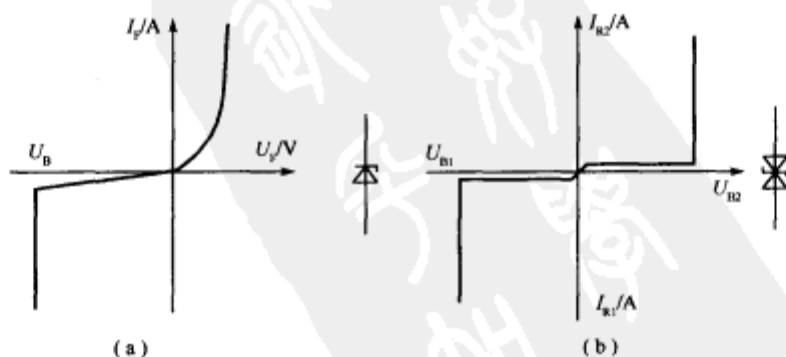


图 4-45 单极型和双极型瞬态抑制二极管

瞬态电压抑制二极管的工作原理是利用 PN 结的齐纳击穿特性而工作的,每一个 PN 结都有自己的反向击穿电压 U_B 。例如 U_B 为 200V,当施加到 PN 结的反向电压小于 200V 时,电流不导通,而当施加到 PN 结的反向电压高于 200V 时,PN 结快速进入击穿

状态,有大电流通过 PN 结,而 U_B 电压限制在 200V 附近。根据这个道理,在电路中有浪涌电压产生时,瞬态电压抑制二极管可将高压脉冲限制在安全范围,而允许瞬间大电流旁路。因此瞬态电压抑制二极管可用于电路过压保护。从结构上讲双极型的芯片不是简单地由两个背对背的单极芯片串联而成,而是利用现代半导体加工技术在同一硅片的正反两个面上制作两个背对背的 PN 结,它用于双向过压保护。

瞬态电压抑制二极管的芯片的 PN 结经过玻璃钝化保护,管体由改性环氧树脂模塑而成。它具有体积小,峰值功率大,抗浪涌电压的能力强,击穿电压特性曲线好,齐纳阻抗低,双向电压对称性好,反向漏电流小,以及对脉冲的响应时间快等特点,适合在恶劣环境条件下工作,是一种理想的防雷电保护器件。如图 4-46 是单极型和双极型瞬态抑制二极管的应用电路。

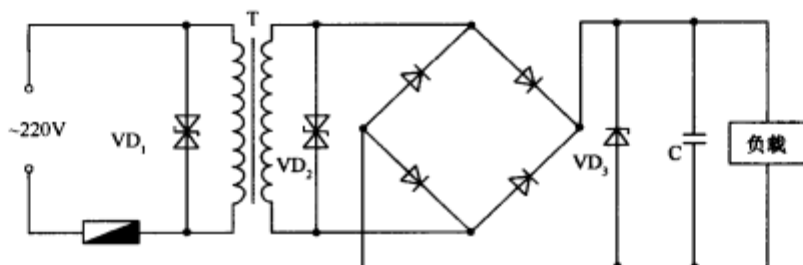


图 4-46 单极型和双极型瞬态抑制二极管的应用电路

电路中, VD_1 对电源变压器的输入端部分起保护作用,当输入端有高压浪涌脉冲引入时,不论脉冲方向如何,它能快速进入击穿导通,对输入电压进行钳位。 VD_2 提供了对变压器输出端之后电路的保护,因为变压器是一个大的感性部件,在前级熔断器断开的瞬间,感应到变压器之后的浪涌电压将被它钳位。 VD_3 直接对负载进行保护,它利用了一个单极型的瞬态电压抑制二极管。

2. 瞬态电压抑制二极管的检测

对于单极型的瞬态电压抑制二极管,按照测量普通二极管的方法可测出其正反向阻值,一般正向阻值为 $4k\Omega$ 左右,反向阻值为无穷大。若测得的正反向阻值均为零或均为无穷大,则表明管子已经损坏。

对于双极型瞬态电压抑制二极管,任意调换红、黑表笔,测量其两引脚的电阻值均应为无穷大。否则说明管子性能不良或已经损坏,但这种方法对管子内部断极或开路的故障是不能判断的。

三、双向触发二极管

1. 双向触发二极管的特性

双向触发二极管简称 DIAC,是一种两端交流器件。它与双向晶闸管同时问世,具有结构简单、价格低廉等优点。

双向触发二极管的结构、电路符号、等效电路以及伏安特性如图 4-47 所示。

双向触发二极管属于三层二端半导体器件,具有对称性质,可等效于基极开路、发射极与集电极对称的 NPN 晶体管。其正、反向伏安特性完全对称,当器件两端的电压 V 小于正向转折电压 V_{BO} 时,管子呈高阻状态,当 $V > V_{BO}$ 时进入负阻区。同理,当 V 超过反向

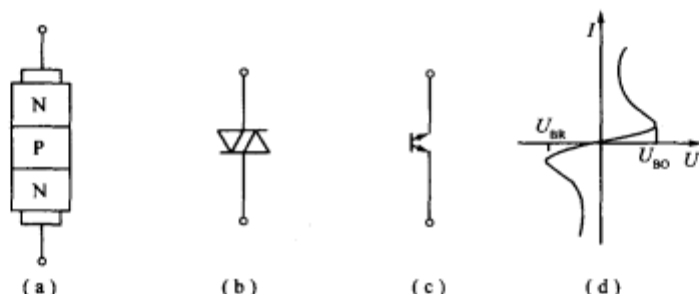


图 4-47 双向触发二极管的结构、电路符号、等效电路及伏安特性

(a)结构；(b)电路符号；(c)等效电路；(d)伏安特性。

转折电压 V_{BR} 时，管子也能进入负阻区。转折电压的对称性用 ΔV_B 表示， $\Delta V_B = V_{BO} - |V_{BR}|$ 。一般要求 $\Delta V_B < 2V$ 。常见的双向触发二极管的耐压值 (V_{BO}) 大致分为三个等级：20V~60V；100V~150V；200V~250V。

2. 双向触发二极管的应用电路

双向触发二极管的用途很广，除可用来触发双向晶闸管之外，还可组成定时器、移相电路及过压保护电路等。

图 4-48 是由双向触发二极管与双向晶闸管构成的过压保护电路。

当瞬态电压 V_i 超过双向触发二极管的转折电压时，双向触发二极管导通，并触发双向晶闸管使之也导通，将瞬态峰值电压钳位，从而保护负载免受过压损害。

图 4-49 是由双向触发二极管构成的台灯调光电路图。

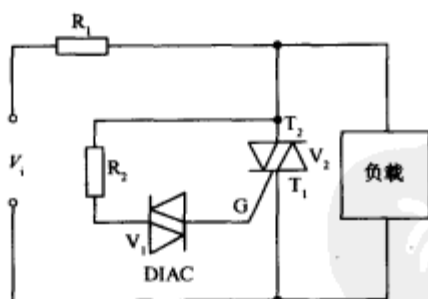


图 4-48 双向触发二极管构成的过压保护电路

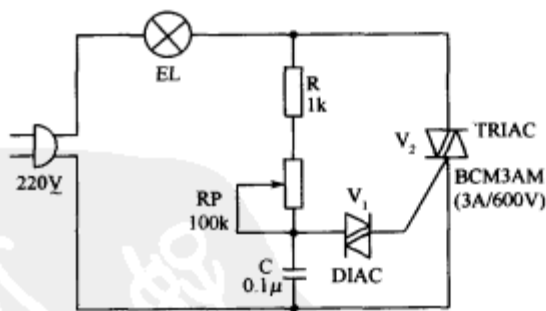


图 4-49 由双向触发二极管构成的调光电路

EL 代表白炽灯泡。双向触发二极管与双向晶闸管的门极相连。通过调节电位器 RP，可以改变双向晶闸管的导通角，进而改变流过白炽灯泡的平均电流值，实现连续调光的效果。此电路还可作为 500W 以下的电熨斗或电热褥的温度调节电路。应用时，双向晶闸管要加装合适的散热器，以免管子过热损坏。

3. 双向触发二极管的检测

(1) 将万用表置于 $R \times 1k$ 挡，测量双向触发二极管的正、反向电阻值，正常时，都应为无穷大。若交换表笔进行测量，万用表指针向右摆动，说明被测管有漏电性故障。

(2) 按图 4-50 所示电路进行连接。

将万用表置于相应的直流电压挡(视双向触发二极管的具体转折电压而定)。测试电

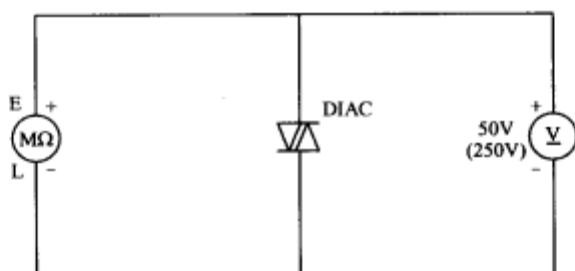


图 4-50 双向触发二极管检测电路

压由兆欧表提供。测试时,摇动兆欧表,万用表所指示的电压值即为被测管子的 V_{BO} 值。然后调换被测管子的两个管脚,用同样的方法测出 V_{BR} 值。最后将 V_{BO} 与 V_{BR} 进行比较,两者的绝对值之差越小,说明被测双向触发二极管的对称性越好。

四、双基极二极管

双基极二极管又称单结晶体管(UJT),它有一个 PN 结和三个电极——两个基极和一个发射极,双基极二极管具有一种重要的电气性能——负阻特性,可以利用它组成弛张振荡器、自激多谐振荡器、阶梯波发生器以及定时电路等多种脉冲单元电路,并使这些电路的结构大为简化。

1. 双基极二极管的特性

双基极二极管的内部结构和等效电路如图 4-51 所示。

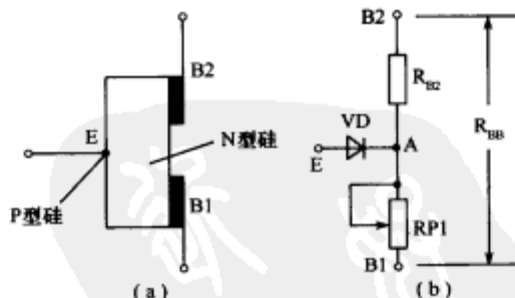


图 4-51 双基极二极管的内部结构和等效电路

在一块高电阻率的 N 型硅片两端,制作两个欧姆接触电极(接触电阻非常小的纯电阻接触电极),分别叫做第一基极 B1 和第二基极 B2,硅片的另一侧靠近第二基极 B2 处制作了一个 PN 结,在 P 型半导体上引出的电极叫做发射极 E。为了便于分析双基极二极管的工作特性,通常把两个基极 B1 和 B2 之间的 N 型区域等效为一个纯电阻 R_{BB} ,称为基区电阻,它是双基极二极管的一个重要参数,国产双基极二极管的 R_{BB} 的值在 $2k\Omega \sim 10k\Omega$ 范围内。 R_{BB} 又可看成是由两个电阻串联组成的,其中 R_{B1} 为基极 B1 与发射极 E 之间的电阻, R_{B2} 为基极 B2 与发射极 E 之间的电阻。在正常工作时, R_{B1} 的阻值是随发射极电流 I_E 而变化的,好像是一个可变电阻。PN 结的作用相当于一只二极管 VD。

常见双基极二极管的外形及电路符号如图 4-52 所示。

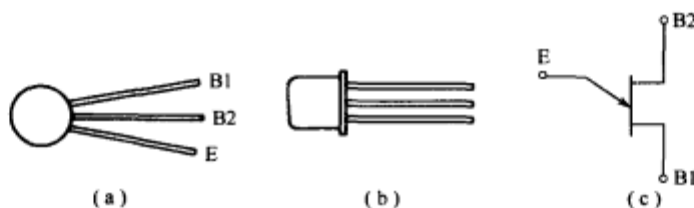


图 4-52 常见双基极二极管的外形及电路符号

2. 双基极二极管的检测

1) 判别电极

(1) 区分发射极 E: 将万用表置于 $R \times 1k$ 挡, 用黑表笔接于任意电极上, 然后用红表笔去分别接触另外两个电极, 当测得两个近似相等的电阻值时 (约 $10k\Omega$ 左右), 则黑表笔所接的电极即为发射极 E。

(2) 判别 B1 和 B2: 将黑表笔接 E, 用红表笔依次去接触另外两个电极, 分别测得两个正向电阻值。由于管子构造上的原因, 第二基极 B2 靠近 PN 结, 所以发射极 E 与 B2 间的正向电阻应比 E 与 B1 间的正向电阻值小一些。它们的数量级应在几到十几千欧范围内。因此, 当按上述接法测得的阻值较小时, 其红表笔所接的电极即为 B2, 测得阻值较大时, 红表笔所接的电极则为 B1。

应当指出, 上述判别基极 B1 与 B2 的方法, 不一定对所有双基极二极管都适合。有个别管子的 E 与 B1 间的正向电阻值和 E 与 B2 间的正向电阻值相差不大, 遇到这种情况就较难区分 B1 与 B2。经验表明, 准确地判别双基极二极管的两个基极, 在实际使用中并不十分重要, 这是因为, 即使 B1、B2 用颠倒了, 也不会损坏管子, 只影响输出的脉冲幅度。当发现输出的脉冲幅度较小时, 可将原已认定的 B1 和 B2 两电极对调一下试试, 以实际使用效果来判定 B1 和 B2 的正确接法。

2) 好坏的判别

将万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡。将黑表笔接发射极 E, 红表笔接 B1 或 B2 时, 所测得的为双基极二极管 PN 结的正向电阻值。正常时应为几至十几千欧, 比普通二极管的正向电阻值略大一些; 将红表笔接在发射极 E, 用黑表笔分别去接 B1 或 B2, 所测得的为双基极二极管 PN 结的反向电阻值, 正常应为无穷大。

再将红、黑表笔分别任意接 B1 和 B2, 测量双基极二极管的 B1、B2 间的电阻, 正常应在 $2k\Omega \sim 10k\Omega$ 范围内, 阻值过大或过小均不宜使用。

五、精密二极管

精密二极管简称 PD。它具有线性好、工作温度范围宽、稳定性好等优点。精密二极管的具体型号有 HW14、15、16、17; SHW14、17 及 THW15、16、17, 其外形如图 4-53 所示。

精密二极管的主要工作电路是恒流源和恒压源电路, 为了使用方便, HW 系列产品配有恒流源和恒压源供电下的 U_i 与 I_i 及 t 的特性对照表, 每隔 1°C 给出一个 U_i 与 I_i 的特性对照值。通过改变 VD 的体温, 可以调节和控制其特性参数, 因此制造了带温控器的 PD, 简称 TPD, 型号有 THW15、16、17。温控器是通过一个加热电阻来实现温度调节和控制的, 改变加热电阻的电流, 即可实现调节和控制 PD 的体温, 而体温的数值大小可根

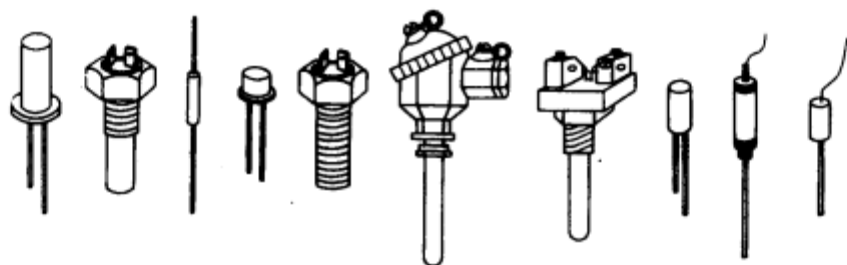


图 4-53 精密二极管的外形

据恒流源或恒压源供电下的 U_i 值从特性对照表中查得。

为了弥补 PD 单管的不足,将两个特性相同的 PD 芯片封装在一起,制造了 PD 对管,简称 SPD,型号有 SHW14、17。SPD 具有严密的对称性,两个 PD 的 U_i 偏差小于 0.1mV。



第五章 晶体三极管的识别与检测

晶体三极管也称为半导体三极管,简称三极管,它是由两个背靠背做在一起的 PN 结加上相应的电极引线封装组成,有集电极 c、基极 b 和发射极 e 三个电极。由于三极管具有电压、电流和功率放大作用,因此它是各种电路中十分重要的器件之一。用它可以组成放大、振荡及各种功能的电子电路,同时也是制作各种集成电路的基本单元电路。加之三极管具有体积小、重量轻、寿命长、耗电省等优点,因此得到了广泛的应用。本章从三极管的分类、识别和检测等多个方面,对常用三极管进行详细分析和介绍。

第一节 晶体三极管概述

一、三极管的分类

三极管在电子技术中扮演着极其重要的角色;利用它可以放大微弱的电信号;利用它可以作为无触点开关元件;利用它可以产生各种频率的电振荡;利用它可以代替可变电阻……三极管还是集成电路中的核心元件。因此,三极管应用极为广泛。电子电路中常用的三极管,种类很多,按照频率分有高频管(3MHz 以上)、低频管(3MHz 以下);按照功率分有小功率管、中功率管和大功率管;按半导体材料分有硅管、锗管;按用途分有放大管、开关管、低噪声管、高反压管等。三极管的具体分类情况如图 5-1 所示。

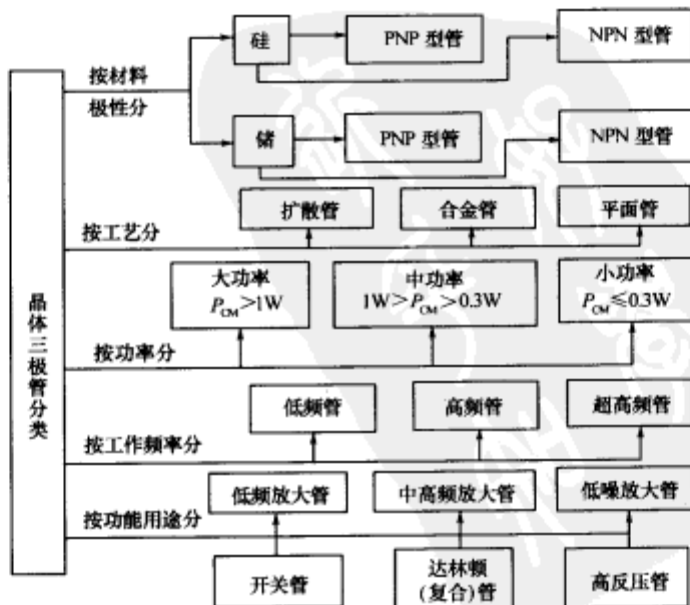


图 5-1 三极管的分类情况

晶体三极管的型号命名原则见附录所示。

重点提示:锗管具有较低的起始工作电压。用锗材料制作的 PN 结的正向导通电压约为 $0.2\text{V}\sim 0.3\text{V}$, 如果锗三极管发射极和基极之间有 $0.2\text{V}\sim 0.3\text{V}$ 电压, 三极管即可开始工作。其次, 锗管的饱和压降较低。三极管导通时, 锗管发射极和集电极间的电压较低, 在实际电路中, 锗管更容易满足在低电压下工作。第三, 锗管的漏电流较大, 同时锗管耐压较低。

硅管具有较高的起始工作电压。用硅材料制作的 PN 结正向导通电压约为 $0.6\text{V}\sim 0.7\text{V}$, 所以硅三极管发射极和基极之间有 $0.6\text{V}\sim 0.7\text{V}$ 电压, 三极管即可开始工作。其次, 硅管有较高的饱和压降。三极管导通时, 硅管发射极和集电极间的电压较高。第三, 硅管的反向漏电流较小, 输出特性更平坦, 同时硅管耐压较高。

二、三极管的外形和结构

从外形来看, 三极管通常有三个极, 常见外形如图 5-2 所示。

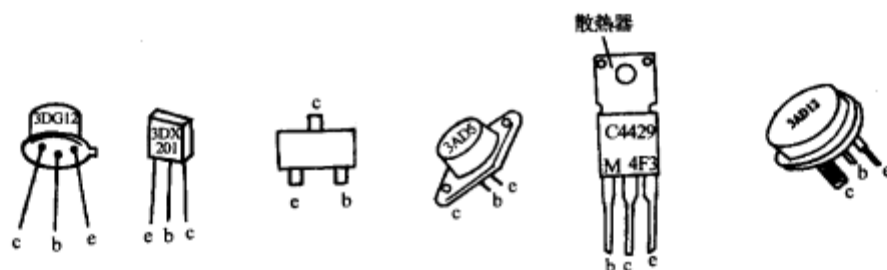


图 5-2 常见三极管的外形

不论三极管的外形如何, 其内部的基本结构都是在—块半导体上制造两个距离很近的 PN 结, 这两个 PN 结把整块半导体分为三个区, 由这三个区引出的电极分别称为: 发射极, 用字母 e 表示; 基极, 用字母 b 表示; 集电极, 用字母 c 表示。发射极与基极间的 PN 结称为发射结; 集电极与基极间的 PN 结称为集电结。三极管的两个 PN 结之间存在着相互联系和相互影响, 使它的电性能完全不同于一个 PN 结的二极管。

根据三极管中两个 PN 结组合方式不同, 可以分成两种类型: 如果两边是电子导电的 N 型区, 中间是空穴导电的 P 型区, 则称为 NPN 型三极管; 若两边是空穴导电的 P 型区, 中间是电子导电的 N 型区, 则称为 PNP 型三极管。NPN 型和 PNP 型三极管在符号上的区别是发射极箭头的方向, 它代表 PN 结正向接法时的电流方向, 因此, NPN 型的发射极箭头向外, PNP 型的箭头向内。NPN 和 PNP 型三极管的结构及符号如图 5-3 所示。

三极管制造工艺上的特点是: 发射区掺杂浓度大于基区掺杂浓度, 以利于发射载流子; 集电区比发射区大, 以便集电区收集载流子; 基区做得很薄, 杂质也掺得少, 使载流子通过基区的时间很短, 以便减少载流子在基区的复合。所以发射区和集电区虽然同是 P 型或 N 型半导体材料, 但由于工艺技术上的差别, 使它们的功能不同, 因而在使用三极管时, 要分清其发射极和集电极, 不可颠倒使用。

三、三极管的工作电压

前已述及, 三极管在制造工艺上做了特殊设计, 这为三极管的放大功能提供了内部条

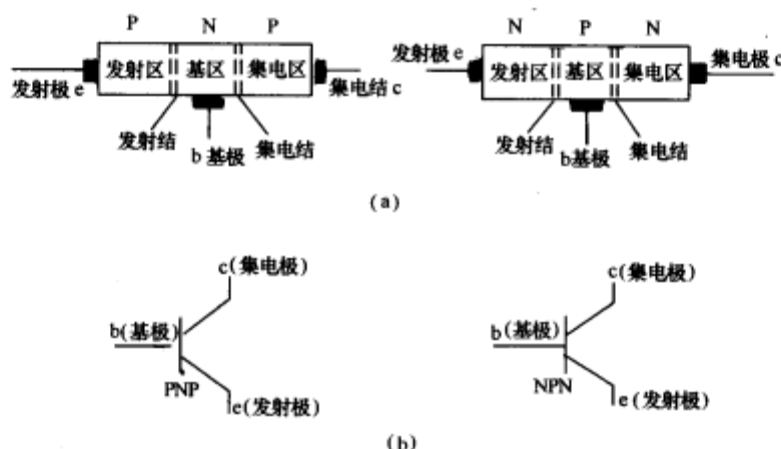


图 5-3 NPN 和 PNP 型三极管的结构及符号

(a)内部结构；(b)电路符号。

件,但是,仅靠这些还不能放大信号,还必须具备一定的外部条件才能实现放大功能。具体地说,就是需要加上一定的工作电压给三极管,如果电源极性接错,或提供的电压不正常,尽管这时三极管本身是好的,也照样不能工作,甚至还可能损坏三极管。

要使三极管能够起放大作用,其工作电源的接法必须是:三极管的发射结加正向电压,集电结加反向电压,并且反向电压要高于正向电压两倍以上。根据上述原则,PNP 型三极管和 NPN 型三极管电源供电的连接方法应如图 5-4 所示。

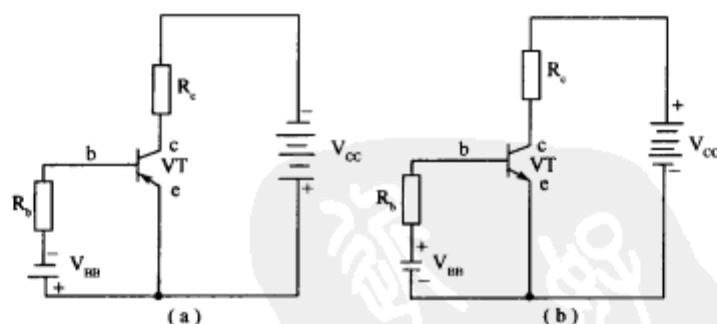


图 5-4 PNP 和 NPN 三极管电源的接法

(a)PNP 型三极管电源接法；(b)NPN 型三极管电源接法。

考虑到设置两个电源不方便,因此,一般实际电路采用如图 5-5 所示的电路。为满足上述供电条件,图中的 R_b 必须大于 R_c 。

通常把加在发射极与基极间的电压称为基极电压或偏压,用 U_{be} 表示。采用硅材料的 NPN 管,这个电压值约为 $0.6V$;采用锗材料的 NPN 管,电压值约为 $0.2V$;采用硅材料的 PNP 管,电压值为 $-0.6V$ 左右;采用锗材料的 PNP 管,电压值为 $-0.2V$ 左右。

重点提示:以上电压值的正、负是测量电压时参考点电位不同引起的,测量 NPN 管时,以发射极作为低电位参考点,测量 PNP 管时,以基极作为低电位参考点。

加在发射极与集电极之间的反向工作电压,称为集电极电压,用 U_{ce} 表示,所谓“反向”,是针对集电结而言的,它的电压数值与电路中的元件参数、电源电压有关。

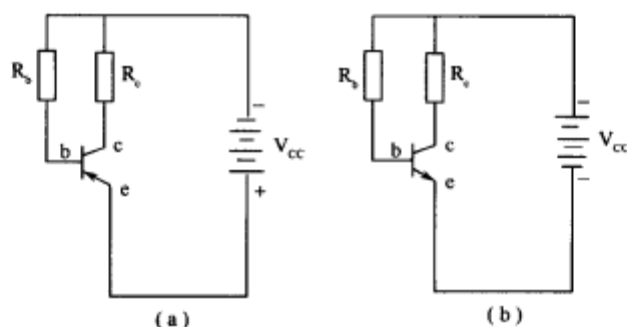


图 5-5 实际供电电路
(a)PNP 型三极管; (b)NPN 型三极管。

四、三极管的电流分配关系

为了了解三极管的放大原理和其中的电流分配关系,我们先做一个实验,NPN 管实验电路如图 5-6(a)所示。

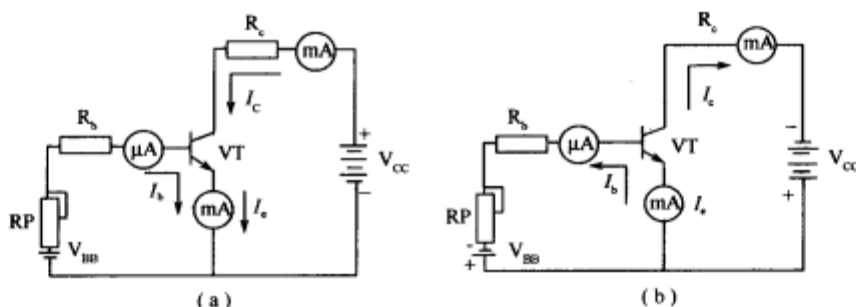


图 5-6 三极管电流分配实验电路
(a)NPN 三极管电流分配; (b)PNP 三极管电流分配。

图 5-6 中, I_b 表示基极电流, I_c 表示集电极电流, I_e 表示发射极电流, 调整可变电阻 RP 的阻值, 便可改变基极电流 I_b , 为了防止因 RP 值调得太小而引起过大的基极电流烧坏管子的发射结, 在基极回路中串接一个固定电阻 R_b 来限制基极电流的最大值, 从而保护管子不致因过流而损坏。

测试电路有两个回路, 基极电路和集电极电路, 发射极是公共端, 因此, 这种接法称为晶体管的共发射极接法。电源的极性必须按图 5-6 中所示进行连接, 且 V_{cc} 大于 V_{bb} 。

改变可变电阻 RP, 则基极电流 I_b 、集电极电流 I_c 和发射极电流 I_e 都发生变化, 电流方向如图 5-6 中所示, 测量结果见表 5-1 所示。

表 5-1 晶体管电流测试数据

I_b/mA	-0.01	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
I_c/mA	0.01	0.01	0.70	1.50	2.30	3.10	3.95
I_e/mA	0	0.01	0.72	1.54	2.36	3.18	4.05

由此实验及测量结果可得出以下结论。

(1) 任何一系列数据都有 $I_e = I_c + I_b$ 。可见, 流进管子的总电流等于流出管子的总电

流,这一结果符合基尔霍夫电流定律。

(2)集电极电流 I_c 和发射极电流 I_e 比基极电流 I_b 大得多。从第四列和第五列的数据可知, I_c 与 I_b 的比值分别为

$$\frac{I_c}{I_b} = \frac{1.50}{0.04} = 37.5$$

$$\frac{I_c}{I_b} = \frac{2.30}{0.06} = 38.3$$

这就是三极管的电流放大作用,电流放大作用还体现在基极电流的少量变化 ΔI_b , 可以引进集电极电流较大的变化 ΔI_c 。还是比较第四列与第五列的数据,可得出

$$\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \frac{2.30 - 1.50}{0.06 - 0.04} = \frac{0.08}{0.02} = 40$$

可见,当基极电流有一微小的变化时,可引起集电极电流较大的变化,一般地,我们把 ΔI_c 与 ΔI_b 的比值用 β 表示,即 $\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$,称为三极管的电流放大倍数。

重点提示:当 I_b 从 0mA 变化到 0.02mA 时, I_c 由 0.01mA 变化到 0.70mA,根据电流放大倍数的公式可得,电流放大倍数 β 为 34.5;当 I_b 从 0.02mA 变化到 0.04mA 时, I_c 由 0.70mA 变化到 1.50mA,此时,电流放大倍数 β 为 40。由此可见,该三极管的 β 值与三极管的工作电流有关, I_c 增大时,三极管的 β 值也随着增大,通常,我们称这类三极管具有反向 AGC 特性。实际上,在半导体器件中还有其他两类的三极管:一类是具有正向 AGC 特性(当三极管 I_c 增大时,三极管的 β 值会减小),另一类是没有 AGC 特性(当三极管 I_c 在很大范围内变化时,其 β 值基本不变)。因此,在检修电子产品时,若确认某三极管不良,在没有同型号三极管替换时,除考虑三极管其他参数外,还必须根据管子的上述特性,选择相对应的三极管。

(3) $I_b = 0$ 时,即基极开路时, $I_c = I_{c0}$,我们称此时的 I_c 值为穿透电流,记作 I_{∞} ,通常 I_{∞} 越小,说明晶体二极管的热稳定性越好。

(4) 当 $I_c = 0$ (将发射极开路时), $I_c = I_{cbo}$,称为反向饱和电流,表中, $I_{cbo} = 0.01\text{mA}$ 。为什么称为反向呢?因为此时集电结处于反向偏置状态 I_{cbo} ,是由 N 区流向 P 区。

上述实验是以 NPN 型管为例的。如果采用图(b)所示的 PNP 型三极管电路,同样能得到上述结果,不同的是 PNP 型三极管的电流方向与 NPN 型三极管相反。

五、三极管的输入输出特性曲线

三极管的特性曲线是内部载流子运动的外部表现,它反映出三极管的性能,是分析放大电路的重要依据。最常用的是共发射极接法时的输入特性曲线和输出特性曲线。这些特性曲线可用晶体管特性图示仪直观地显示出来,也可以通过如图 5-7 所示的实验电路进行测绘。

1. 输入特性曲线

输入特性曲线是指当集-射电压 U_{ce} 为常数时,基极电流 I_b 与基-射极电压 U_{be} 之间的关系曲线。因为三极管的发射结是一个 PN 结,且正向连接,所以晶体三极管的输入特性曲线与二极管的正向特性曲线是一样的,如图 5-8 所示。

图 5-8 中输入特性曲线是在三极管集电极电压取某个值时测定的,若集电极电压取

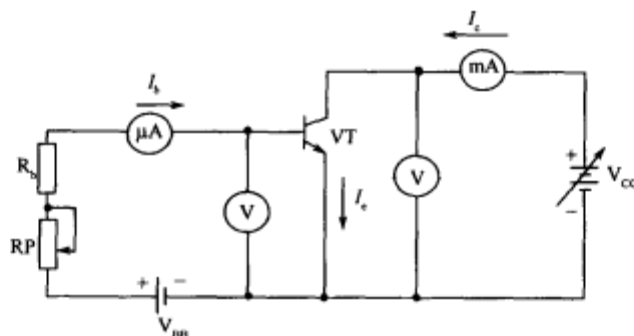


图 5-7 测量三极管特性的实验电路

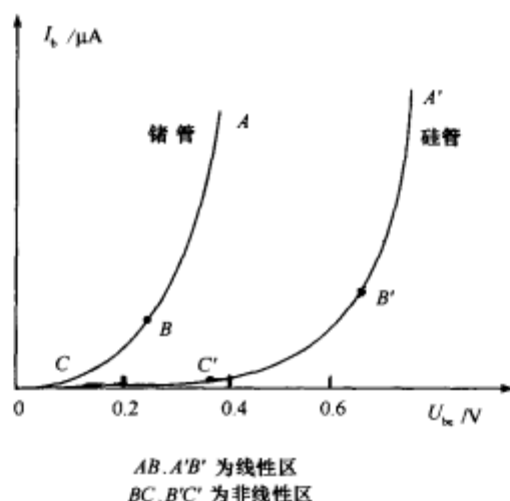


图 5-8 输入特性曲线

不同固定值,输入特性曲线仅是左右微动点,其形态基本不变,另外,当温度升高时, U_{be} 将会降低,反映在输入特性上,表现为整个曲线随温度升高而向左移。

从曲线上可以看出,输入特性曲线可分为非线性区与线性区两部分,在线性区输入电压 U_{be} ,微小变化会引起基极电流 I_b 较大幅度地作线性变化,因此,若将三极管作为线性放大元件使用时(例如用作中频放大管、低频放大管),必须通过调整 I_b 或 U_{be} ,使三极管输入端工作在这个区。

重点提示:输入特性曲线表明,三极管正常工作时, U_{be} 变化范围较小,硅管约 $0.5V \sim 0.7V$,锗管 $0.2V \sim 0.3V$ 。对于硅管,当 $U_{be} < 0.5V$ 时, $I_b = 0$,称为管子的“死区”。另外,基极和发射极之间也不能加过高的正向电压,否则将因 I_b 的剧增而导致管子的损坏。

2. 输出特性曲线

三极管的输出特性曲线是指当基极电流 I_b 为常数时,输出电路(集电极电路)中的集电极电流 I_c 与集-射极电压 U_{ce} 之间的关系曲线。在不同的 I_b 下,可得到不同的曲线,所以,三极管的输出特性曲线是一组曲线,如图 5-9 所示。

分析三极管的输出特性曲线,我们可以将它分为三个区,即截止区、放大区和饱和区。

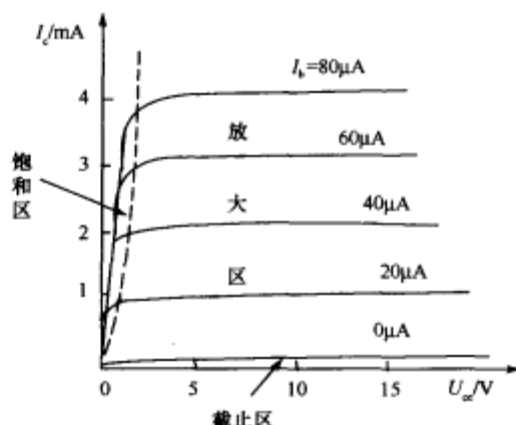


图 5-9 输出特性曲线

1) 截止区

一般将输出特性曲线中 $I_b \leq 0$ 的区称为截止区,在图中为 $I_b = 0$ 的一条曲线以下的部分,此时 I_c 也近似为零。由于管子的各极电流都基本上等于零,所以三极管处于截止状态,没有放大作用。

其实,当 $I_b = 0$ 时,集电极回路的电流并不真正为零,而是有一个较小的穿透电流 I_{ce0} 。一般硅三极管的穿透电流较小,通常小于 $1\mu A$,所以在输出特性曲线上无法表示出来。锗三极管的穿透电流较大,约为几十微安至几百微安。可以认为当发射结反向偏置时,发射区不再向基区注入电子,则三极管处于截止状态,所以,在截止区,三极管的发射结和集电结都处于反向偏置状态,对于 NPN 管来说,此时 $U_{be} < 0, U_{bc} < 0$ 。

重点提示:在三极管放大电路中,为了防止三极管工作在截止区,必须给三极管适当基极电流,使之工作在放大区。

2) 放大区

在放大区内,各条输出特性曲线比较平坦,近似为水平的直线,表示当 I_b 一定时, I_c 的值基本上不随 U_{ce} 而变化。而当基极电流有一个微小的变化量 ΔI_b 时,相应的集电极电流将产生较大的变化量 ΔI_c ,比 ΔI_b 放大 β 倍,即

$$\Delta I_c = \beta \Delta I_b$$

这个表达式体现了三极管的电流放大作用。

在放大区,三极管的发射结正向偏置,集电结反向偏置。对于 NPN 管来说, $U_{be} > 0$ 。而 $U_{bc} < 0$ 。

重点提示:在三极管组成的放大电路中,三极管必须工作在这个区才能放大信号,对于共射极放大器,输入信号由基极输入,从集电极得到放大的输出信号。

3) 饱和区

图中纵坐标附近虚线以左的部分属于三极管的饱和区,在这个区域,不同 I_b 值的各条特性曲线几乎重叠在一起,十分密集。也就是说,当 U_{ce} 较小时,管子的集电极电流 I_c 基本上不随基极电流 I_b 而变化,这种现象称为饱和。在饱和区,三极管失去了放大作用,此时不能用放大区中的 β 来描述 I_c 和 I_b 的关系。

一般认为,当 $U_{ce} = U_{be}$,即 $U_{cb} = 0$ 时,三极管达到临界饱和状态。当 $U_{ce} < U_{be}$ 时称为

过饱和。三极管饱和时的管压降用 U_{ces} 表示,一般小功率硅三极管的饱和管压降 $U_{ces} < 0.4V$ 。

三极管工作在饱和区时,发射结和集电结都处于正向偏置状态。对于 NPN 管来说, $U_{be} > 0, U_{bc} > 0$ 。

重点提示:三极管组成的放大电路中,要适当选择三极管外围元件,防止三极管工作在饱和区。值得注意的是,三极管工作在饱和区并不是三极管本身不具备放大能力,而是外围条件使三极管不能发挥其放大作用。

需要说明的是,温度对半导体器件的影响也很大,图 5-10 是当环境温度从 T_1 变化到 T_2 时,三极管输出特性曲线的变化情况,其中实线为 T_1 时的,虚线为 T_2 时的。从输出特性曲线可以看出,温度的变化将导致三极管工作不稳定,所以在实际电路中,常采用各种措施来消除这种影响。

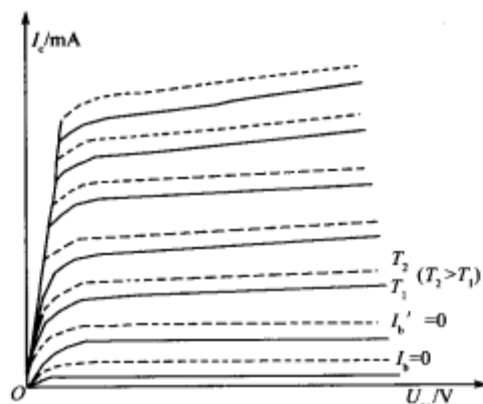


图 5-10 温度对三极管特性曲线的影响

六、晶体三极管的主要技术参数

晶体三极管的参数主要分为三类,下面分别介绍。

1. 直流参数

1) 共发射极直流放大倍数 $\bar{\beta}(h_{FE})$

$\bar{\beta}$ 是三极管的直流电流放大系数,是指在共发射极电路中,无变化信号输入的情况下,三极管 I_c 与 I_b 的比值,即 $\bar{\beta} = I_c / I_b$ 。共发射极直流放大倍数 $\bar{\beta}$ 是衡量三极管直流放大能力的一个重要参数,对于同一个三极管而言,在不同的集电极电流下有不同的 $\bar{\beta}$ 。

三极管的 $\bar{\beta}$ 值可通过数字万用表的 h_{FE} 挡测出,只要将三极管的 b、c、e 对应插入 h_{FE} 的测试插孔,便可直接从表盘上读出该管的 $\bar{\beta}$ 值。

2) 集电极反向截止电流 I_{cbo}

I_{cbo} 是指三极管发射极开路时,在三极管的集电结上加上规定的反向偏置电压,此时的集电极电流称为集电极反向截止电流。 I_{cbo} 又称为集电极反向饱和电流,这是因为在集电结反向偏置状态下,在一定的室温范围内再增大反向偏置电压, I_{cbo} 也不再增大了,所以称为反向饱和电流。一般小功率锗三极管的 I_{cbo} 约为几微安至几十微安,硅三极管的 I_{cbo}

要小得多,有的可以达到纳安数量级。

对于不同类型的三极管集电极反向截止电流 I_{cbo} 的方向是不同的,如图 5-11 所示。

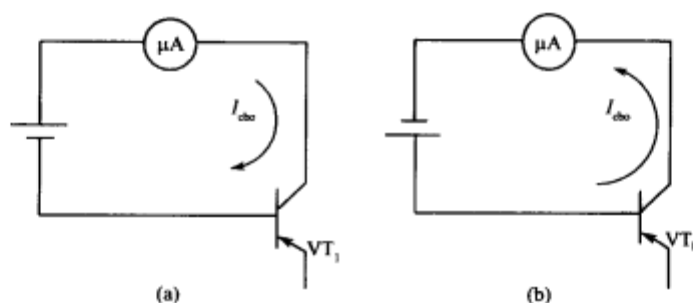


图 5-11 不同类型三极管 I_{cbo} 示意图

3) 集电极—发射极反向截止电流 I_{ceo}

前已述及, I_{ceo} 是指三极管基极开路情况下, 给发射结加上正向偏置电压、给集电结加上反向偏置电压时的集电极电流, 俗称穿透电流。集电极—发射极反向截止电流 I_{ceo} 对于不同类型的三极管, 其方向是不同的, 如图 5-12 所示。

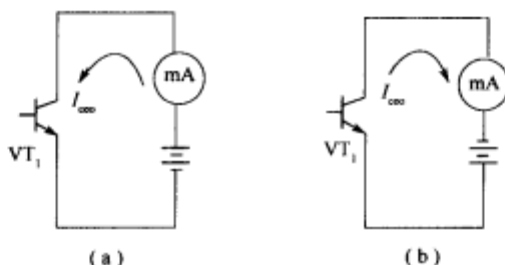


图 5-12 不同类型三极管 I_{ceo} 示意图

I_{ceo} 与 I_{cbo} 有如下关系:

$$I_{ceo} = (1 + \bar{\beta}) I_{cbo}$$

由上式可知, I_{ceo} 比 I_{cbo} 约大 $\bar{\beta}$ 倍。

I_{ceo} 和 I_{cbo} 都随温度的升高而增大, 特别是锗管受温度影响更大, 这两个反向截止电流反映了三极管的热稳定性, 反向电流小, 三极管的热稳定性就好。

2. 交流参数

1) 共发射极电流放大倍数 β

β 是指将三极管接成共发射极电路时的交流放大倍数, β 等于集电极电流 I_c 变化量 ΔI_c 与基极电流 ΔI_b 两者之比, 即 $\beta = \Delta I_c / \Delta I_b$ 。

β 与直流放大倍数 $\bar{\beta}$ 含义是不同的, 但是, 对于大多数三极管来说, β 与 $\bar{\beta}$ 却相差不大, 所以, 在以后的计算中, 常常不将它们严格地区分。

2) 共基极电流放大倍数 α

α 是指将三极管接成共基极电路时的交流放大倍数, α 等于集电极电流 I_c 变化量 ΔI_c 与发射极电流变化量 ΔI_e 之比, 即 $\alpha = \Delta I_c / \Delta I_e$ 。

根据 α 和 β 的定义, 以及三极管中三个电流的关系, 可得

$$\alpha = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_e} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b + \Delta I_c} = \frac{\Delta I_c / \Delta I_b}{(\Delta I_b + \Delta I_c) / \Delta I_b} = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

也可写成

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

3) 截止频率 f_α 、 f_β 与特征频率 f_T 以及最高振荡频率 f_m

当三极管工作在高频状态时,就要考虑其频率参数,三极管的频率参数主要有截止频率 f_α 、 f_β 与特征频率 f_T 以及最高振荡频率 f_m 。

f_α 称为共基极截止频率或 α 截止频率,在共基极电路中,电流放大倍数 α 值在工作频率较低时基本为一常数,当工作频率超过某一值时, α 值开始下降,当 α 值下降至低频值 α_0 (例如 f 为 1kHz) 的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ (即 0.707 倍) 时所对应的频率为 f_α 。

f_β 称为发射极截止频率或 β 截止频率,在发射极电路中,电流放大倍数 β 值下降至低频值 β_0 的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 时所对应的频率为 f_β 。

上述两个截止频率的物理意义是相同的,即 α 和 β 值相对于低频值下降 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 时的频率,

区别在于晶体管在电路中的连接方式不同,因而频率特性也有所不同。

理论和实践都证明,同一只晶体管的 f_β 值远比 f_α 值要小,这两个参数有如下关系:

$$f_\alpha \approx \beta f_\beta$$

重点提示:在实际使用中,工作频率等于 f_β 或 f_α ,并说明管子“截止”,这时管子仍可有相当的放大能力。例如某晶体管的 β 在 1kHz 时测试为 100 (即 $\beta_0 = 100$),当 $f = f_\beta$ 时, $\beta = 100 \times 70.7\% = 70.7$,这就说明晶体管在 $f = f_\beta$ 工作时仍有相当高的放大倍数。另外,由于 α 值在较宽的频率范围内比较均匀,且 f_α 远大于 f_β ,所以高频宽带放大器和一些高频、超高频、甚高频振荡器常用共基极接法。一般规定, $f_\alpha < 3\text{MHz}$ 称为低频管, $f_\alpha \geq 3\text{MHz}$ 称为高频管。

f_T 称为特征频率,晶体管工作频率超过一定值时, β 值开始下降,当 β 下降为 1 时,所对应的频率就叫做特征频率 f_T 。当 $f = f_T$,晶体管就完全失去了电流放大功能。有时也称为增益带宽乘积 (f_T 等于三极管的频率 f 与放大系数 β 的乘积)。

f_m 称为最高振荡频率,定义为三极管功率增益等于 1 时的频率。其意义即是晶体管电路在这个频率下振荡时,输出端全部功率反馈到输入端时刚好可以维持振荡工作状态,频率再高一点即停止振荡。

三极管的频率参数也是选用三极管的重要依据之一,通常,在高频放大电路中,应该选用高频管,即频率参数较高的三极管,如对频率没有特殊要求,可选用低频管,一般低频小功率三极管的 f_α 值约为几十至几百千赫,高频小功率三极管的 f_T 约为几十至几百兆赫,一般可从器件手册上查到三极管的 f_α 、 f_β 和 f_T 。

3. 极限参数

加在三极管上的电压或电流是有一定限度的,当三极管工作时的电压或电流超过这一限制时,轻则影响三极管正常工作,严重时将损坏三极管。三极管的极限参数主要有以下几项。

1) 集电极最大电流 I_{cm}

集电极电流 I_c 超过一定数值时,三极管的 β 值要下降, β 值下降到正常 β 值的 $2/3$ 时的集电极电流,称为集电极最大允许电流 I_{cm} 。当 I_c 超过 I_{cm} 不多时,虽然不致损坏管子,但 β 值显著下降,影响电路的性能。如果三极管工作时 I_c 超过 I_{cm} 过多,这将导致三极管过流损坏。

2) 集电极最大允许功耗 P_{cm}

当三极管工作时,管子两端的压降为 U_{ce} ,流过集电极的电流为 I_c ,损耗的功率为 $P_c = I_c U_{ce}$,集电极消耗的电能将转化为热能使管子的温度升高。当 P_c 的数值超过某个数值时,三极管将因 PN 结升温过高而热击穿损坏,这个数值即称最大允许功耗 P_{cm} 。

使用三极管时,实际功耗不允许超过 P_{cm} ,通常还应留有较大余量,因为功耗过大往往是三极管烧坏的主要原因。

由于 P_{cm} 与管子散热条件极相关,如果三极管加散热片,三极管散热快,允许最大功耗 P_{cm} 可大大提高。因此,在家用电器中有些三极管装有散热片,其道理就在这里。

3) 反向击穿电压

当三极管 PN 结受到较高反向电压时,PN 结就会反向击穿,结电阻突然下降,结电流立即上升,三极管极易损坏。三极管击穿电压不仅与三极管自身特性有关,而且还取决于外部电路的接法。

击穿电压用符号 BV 表示, BV 的下角标表示击穿电压的电极和第三电极的状态。常用的有:

(1) 集电极—发射极击穿电压 BV_{ceo} 。 BV_{ceo} 是指三极管基极开路时,允许加在集电极和发射极之间的最高电压。通常情况下,c、e 极间电压不能超过 BV_{ceo} ,否则会引起管子击穿或使其特性变坏。下标中的“O”表示基本开路。

(2) 集电极—基极击穿电压 BV_{cbo} 。 BV_{cbo} 是指三极管发射极开路时,允许加在集电极和基极之间的最高电压。通常情况下,集电极和基极的反向电压不能超过 BV_{cbo} 。下标中的“O”表示发射极开路。三极管的 BV_{cbo} 要大于 BV_{ceo} ,这是器件的属性,初学者应该记住。

七、晶体三极管的代换原则

在选择和代换三极管时,应掌握以下原则。

1. 类型相同

(1) 材料相同,即锗管置换锗管,硅管置换硅管。

(2) 极性相同,即 NPN 型管置换 NPN 型管,PNP 型管置换 PNP 型管。

2. 特性相近

用于置换的晶体管应与原晶体管的特性相近,它们的主要参数值及特性曲线应相差不多。晶体管的主要参数近 20 个,要求所有这些参数都相近,不但困难,而且没有必要。一般来说,只要下述主要参数相近,即可满足置换要求。

(1) 集电极最大允许功耗 P_{cm} 。一般要求用 P_{cm} 与原管相等或较大的晶体管进行置换。但经过计算或测试,如果原晶体管在整机电路中实际直流耗散功率远小于其 P_{cm} ,则可以用 P_{cm} 较小的晶体管置换。

(2)集电极最大电流 I_{cm} 。一般要求用 I_{cm} 与原管相等或较大的晶体管进行置换。

(3)击穿电压。用于置换的晶体管,必须能够在整机中安全地承受最高工作电压。晶体管的击穿电压参数主要有 BV_{ceo} 、 BV_{cbo} ,一般来说,同一晶体管 $BV_{cbo} > BV_{ceo}$,通常要求用于置换的三极管,其上述两个击穿电压应不小于原晶体管对应的两个击穿电压。

(4)频率特性。在置换三极管时,主要考虑 f_T ,置换的三极管,其 f_T 应不小于原晶体管对应的 f_T 。例如,对于彩色显示器,为了满足对带宽的要求,目前,其视放电路多采用共基—共射视频输出电路,采用共发射极接法的视放管一般应选用截止频率高(500MHz 以上)的三极管,耐压可低一些(耐压超过 40V 即可),采用共基接法的视放管一般应选用耐压高($>200V$)的三极管,截止频率可低一些(大于 3 倍带宽即可)。由以上可以看出,带宽较宽的视放管损坏后,绝不能轻易用普通三极管进行代换,以免引起后患。

(5)其他参数。除以上主要参数外,对于一些特殊的晶体管,在置换时还应考虑其放大系数,如电源电路中的脉宽调制控制管如果放大系数小,则易出现输出电压失控的故障现象。

3. 外形相似

小功率三极管一般外形均相似,只要各个电极引出线标志明确,且引出线排列顺序与待换管一致,即可进行更换。大功率三极管的外形差异较大,置换时应选择外形相似、安装尺寸相同的三极管,以便安装和保持正常的散热条件。

第二节 中小功率三极管的检测

一、中小功率三极管的性能

通常把最大集电极电流 $I_{cm} < 1A$ 或最大集电极耗散功率 $P_{cm} < 1W$ 的三极管统称为中小功率三极管。其主要特点是功率小,工作电流小。中小功率三极管的种类很多,体积有大有小,外形尺寸也各不相同。常见外形如图 5-13 所示。

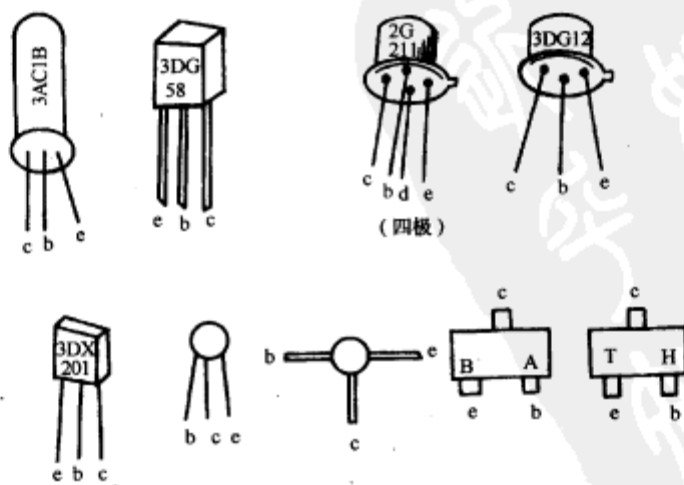


图 5-13 中小功率三极管常见外形

二、中小功率三极管的检测

1. 管脚的判别

1) 判断基极 b

将万用表置于电阻 $R \times 1k$ 挡,用黑表笔接三极管的某一管脚(假设作为基极),再用红表笔分别接另外两个管脚。如果表针指示的两次都很大,该管便是 PNP 管,其中黑表笔所接的管脚是基极。若表针指示的两个阻值均很小,则说明这是一只 NPN 管,黑表笔所接的管脚是基极。如果指针指示的阻值一个很大,一个很小,那么黑表笔所接的管脚就不是三极管的基极,再另换一管脚进行类似测试,直至找到基极。

2) 判断集电极 c 和发射极 e

方法一:对于 PNP 管,将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,红表笔接基极,用黑表笔分别接触另外两个管脚时,所测得的两个电阻值会是一大一小。在阻值小的一次测量中,黑表笔所接管脚为集电极;在阻值较大的一次测量中,黑表笔所接管脚为发射极。

对于 NPN 管,要将黑表笔固定接基极,用红表笔去接触其余两管脚进行测量,在阻值较小的一次测量中,红表笔所接管脚为集电极;在阻值较大的一次测量中,红表笔所接的管脚为发射极。

方法二:将万用表置 $R \times 1k$ 挡,两表笔分别接除基极之外的两电极,如果是 NPN 型管,用手指捏住基极与黑表笔所接管脚,可测得一电阻值,然后将两表笔交换,同样用手捏住基极和黑表笔所接管脚,又测得一电阻值,两次测量中阻值小的一次,黑表笔所对应的是 NPN 管集电极,红表笔所对应的是发射极。测试方法和检测原理如图 5-14 所示。

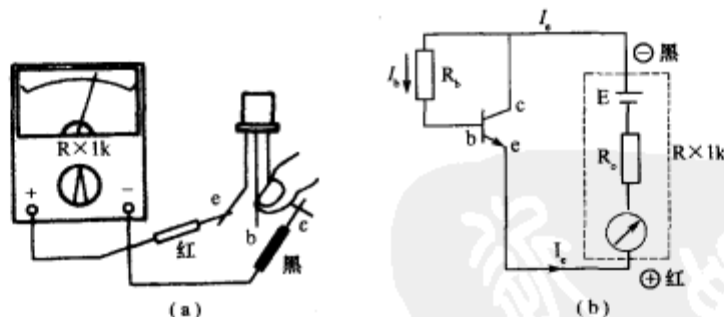


图 5-14 NPN 三极管集电极和发射极的测试方法和原理

(a)测试方法; (b)检测原理。

用此种方法判定 c、e 电极的原理是:基极偏置电阻 R_b 是用手指来代替的。由于被测管的集电结上加有反向偏压,发射结加的是正向偏压,所以使其处于放大状态,此时电流放大倍数较高,所产生的集电极电流 I_c 使万用表指针明显向右偏转(即电阻较小)。倘若红、黑表笔接反了,就等于工作电压接反了,管子也就不能正常工作,放大倍数大大降低,从几十倍降至几倍,甚至为零,因此,万用表指针摆幅很小甚至不动。

如果是 PNP 管,应用手指捏住基极与红表笔所接管脚,同样,所测得电阻小的一次红表笔对应的是 PNP 管集电极,黑表笔所对应的是发射极。

方法三:现在生产的数字万用表,一般都有测试三极管 h_{FE} 的挡位,用此法测试三极管的集电极和发射极十分方便,方法是:先将管子的基极测出,并且测出管子是 NPN 型

还是 PNP 型,然后将万用表置于 h_{FE} 挡,其余两脚分别插入发射极孔和集电极孔,此时从显示屏上读出 h_{FE} 值,对调一次发射极与集电极,再测一次 h_{FE} ,数值较大的一次为正确,从而确定三极管的发射极和集电极。

2. 锗管和硅管的判别

判别三极管是锗管还是硅管,既可用指针万用表,也可用数字万用表,方法如下:

方法一:用指针万用表测量时,测试电路如图 5-15 所示。

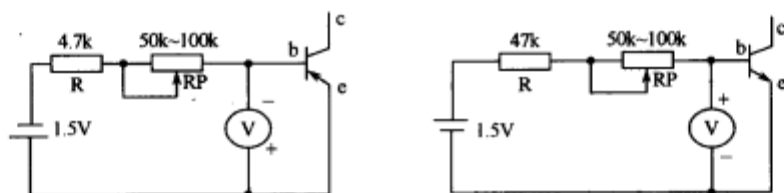


图 5-15 判别锗管和硅管测试电路

测试时还需要一节 1.5V 干电池、一只 $47k\Omega$ 的电阻和一只 $50k\Omega \sim 100k\Omega$ 的电位器。将万用表置于直流 2.5V 挡。电路接通以后,万用表所指示的便是被测管子的发射结正向压降。若是锗管,该电压值为 $0.2V \sim 0.3V$;若是硅管,该电压值则为 $0.5V \sim 0.8V$ 。

方法二:判别三极管是锗管还是硅管,用数字万用表较为方便,方法是,用数字万用表测量管子基极和发射极 PN 结的正向压降,硅管的正向压降一般为 $0.5V \sim 0.8V$,锗管的正向压降一般为 $0.2V \sim 0.3V$ 。

3. 高频管与低频管的判别

高频管的截止频率大于 $3MHz$,而低频管的截止频率则小于 $3MHz$,一般情况下,二者是不能互换使用的。由于高、低频管的型号不同,所以,当它们的标志清楚时,可以查有关手册较容易地直接加以区分。当它们的标志型号不清时,可利用其 BV_{cbo} 的不同用万用表测量发射结的反向电阻,将高、低频管区分开。具体可采用下述两种方法进行判别。

方法一:以 NPN 管为例,将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,黑表笔接管子的发射极 e,红表笔接管子的基极 b。此时电阻值一般均在几百千欧以上。接着将万用表拨至 $R \times 10k$ 高阻挡,红、黑表笔接法不变,重新测量一次 e、b 间的电阻值。若所测阻值与第一次测得的阻值变化不大,可基本断定被测管为低频管;若阻值变化较大,可基本判定被测管为高频管。

方法二:用一台晶体管收音机,将被测管代替收音机上的混频管或振荡管,若此时收音机仍能收到电台广播,即可断定该管为高频管;若换上被测管后收不到电台广播或只能听到一点微弱的个别当地电台的广播声,可断定该管为低频管。

4. 三极管穿透电流 I_{ceo} 的测试

三极管的穿透电流 I_{ceo} 的数值近似等于管子的放大倍数 β 和集电结的反向饱和电流 I_{cbo} 的乘积。 I_{cbo} 随着环境温度的升高而增长很快, I_{cbo} 的增加必然造成 I_{ceo} 增大。而 I_{ceo} 的增大将直接影响管子工作的稳定性,所以在使用中应尽量选用 I_{ceo} 小的管子。

通过用万用表电阻挡测量三极管 e、c 极之间的电阻的方法,可间接估计 I_{ceo} 的大小,方法是:

对于 NPN 管,黑表笔接管子的 c 极,红表笔接管子的 e 极,对于 PNP 管,黑表笔接管子的 e 极,红表笔接管子的 c 极。将万用表置于电阻挡,量程一般选用 $R \times 1k$ 挡,要求测

得的电阻值越大越好。e、c 极间的阻值越大,说明管子的 I_{∞} 越小;反之,所测阻值越小,说明被测管的 I_{∞} 越大。一般说来,中小功率硅管、锗材料高频管及锗材料低频管,其阻值应分别在几百千欧及十几千欧以上。如果阻值很小或测试时万用表指针来回晃动,则表明 I_{∞} 很大,管子的性能不稳定。

在测量三极管 I_{∞} 的过程中,还可同时检查判断一下管子的稳定性优劣。具体方法是:测量时,用手捏住管壳约一分钟左右,观察万用表指针漂移的情况,指针漂移摆动速度越快,说明管子的稳定性越差。通常,e、c 极间电阻比较小的管子,热稳定性相对就较差。在使用中,稳定性不佳的管子应尽量不用,特别是在要求稳定性较高的电路中更不能使用 I_{∞} 大的管子,另外,管子的 β 值越大, I_{∞} 越大,所以在要求稳定性较高的电路中,所使用的管子的 β 值不要太高。

第三节 大功率三极管的检测

一、大功率晶体三极管的特性

通常把最大集电极电流 $I_{cm} > 1A$ 或最大集电极耗散功率 $P_{cm} > 1W$ 的晶体三极管称为大功率三极管。其主要特点是功率大、工作电流大,多数大功率三极管的耐压也较高。大功率三极管多用于大电流、高电压的电路,如彩电与显示器的开关电源、行场输出和视放等电路中。大功率三极管在工作时,极易因过压、过流、功耗过大或使用不当而损坏,因此,正确选用和检测大功率三极管对维修人员十分重要。

大功率三极管一般分为金属壳封装和塑料封装两种,常见外形及管脚排列如图 5-16 所示。

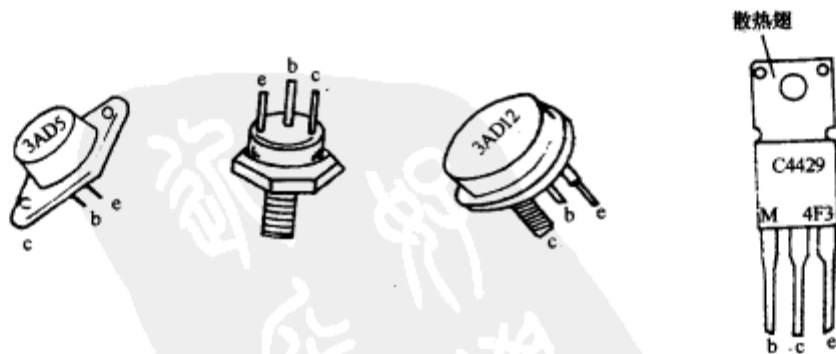


图 5-16 大功率三极管的外形及管脚排列

对于金属壳封装方式的管子,通常金属外壳即为集电极 c,而对于塑封形式的管子,其集电极 c 通常与自带的散热片相通。因为大功率三极管工作在大电流状态下,所以使用时应按要求加适当的散热片。

二、大功率晶体三极管的检测

利用万用表检测中小功率三极管的极性、管型及性能的各种方法,对检测大功率三极管来说,原则上也是适用的。但是,由于大功率三极管的工作电流比较大,因而其 PN 结

的面积也较大。PN 结较大,其反向饱和电流也必然增大。所以,测量时若使用万用表的 $R \times 1k$ 挡,会使测得的电阻值较小,容易造成误判,而万用表的 $R \times 10$ 或 $R \times 1$ 挡满度电流较大,所以应选用这两挡来测量大功率三极管。

另外,由于大功率管多用作功率放大,其饱和压降 BV_{ces} 的大小对电路的影响很大,通常晶体管的 BV_{ces} 约 0.5V,锗管比硅管更小一些。测试电路如图 5-17 所示。

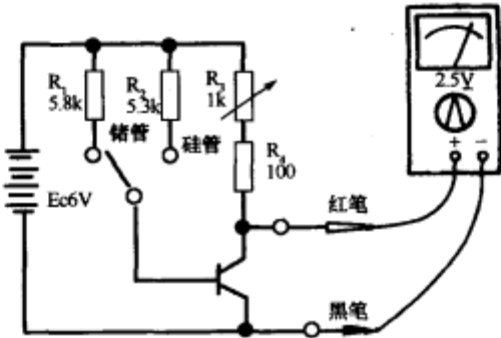


图 5-17 大功率三极管饱和压降测试电路

当按以上电路接好后,万用表的指示值即为 BV_{ces} ,若测试的 BV_{ces} 太大,应检测管子是否进入了饱和状态。其标志为管子的发射结和集电结均为正向偏置,对饱和压降大的管子,不宜作末级功率输出用。

三、常见大功率三极管介绍

1. 开关电源开关管

在彩电、显示器等电子设备中,常采用开关电源为负载电路提供所需工作电压。开关电源中,除部分采用场效应管作为开关管之外,大部分则采用了三极管作为开关管,由于开关管工作电压高、电流大、发热多,所以是最易损坏的元件之一。表 5-2 列出了几种常见开关三极管的主要技术参数。

表 5-2 几种常见开关三极管主要技术指标参数

型 号	BV_{ceo}/V	I_{cm}/A	P_{cm}/W
BU208A	1500	5	50
BU508A	1500	8	125
C1875	1500	3.5	50
C3481	1500	5	120

选择电源开关三极管,应注意以下条件:

- (1)开关性能要好,上升时间和下降时间均应小于 $1\mu s$ 。
- (2)耐压要足够高,一般要求反向击穿电压 BV_{ceo} 不小于 1500V。在这里需要说明一点:手册上给出的反向击穿电压一般是指 BV_{ceo} ,有时是 BV_{cbo} , BV_{cbo} 要比 BV_{ceo} 大得多,如常见的 BU508,其 BV_{cbo} 为 1500V,而 BV_{ceo} 仅为 700V。
- (3)反向漏电流要小。
- (4)饱和压降要小。

(5)功率足够大。

2. 行输出管

1)彩电和彩显行输出管的特性

彩电和彩显的行输出电路中,均采用了行输出管,二者的最大区别之一是工作频率不同。彩电的行频一般为 15750Hz(NTSC 制)或 15625Hz(PAL 制)。在电脑彩色显示器中,为了提高文字、图表的分辨率,将显像管的点距由彩电的 0.6mm~0.8mm 提高到 0.28mm 或更小。与此相应的措施是将行扫描频率提高到 31.5kHz 以上(常用的 VGA 显示器)。近年来出现的 SVGA 显示器,其行扫描频率则高达 120kHz 以上,如此高的行频,就要求彩显行输出电路的元件高频特性要大大高于彩电。如行输出管常采用 BU2508、C4769、D1887;阻尼二极管和中压整流管多采用高频高压快恢复二极管等。至于逆程电容等其他元件原本高频特性的余量较大,彩显和彩电的可以通用。

为了适应行频的提高,对偏转线圈、行输出变压器的分布参数要求随之提高。同时,行输出管也必须选用开关特性好的大功率开关管。要求其脉冲上升时间 t_r 不大于 0.5 μ s,脉冲下降时间 t_f 不大于 0.3 μ s,存储时间 t_s 不大于 1.5 μ s。

表 5-3 列出一些彩电和彩显常用的行输出管的主要参数。

表 5-3 彩电和彩显常用行输出管的主要参数

型 号	BV_{ceo}	I_{cm}	P_{cm}	t_f
2SD1427(用于彩电)	1500V	5A	80W	1 μ s
BU508A(用于彩电)	1500V	8A	125W	0.7 μ s
2SD1403(用于彩电)	1500V	6A	120W	0.4 μ s
2SD1887(用于彩显)	1500V	10A	70W	0.3 μ s

由表 5-3 中数据可知,这两类行管在 BV_{ceo} 、 I_{cm} 、 P_{cm} 参数上基本一致,正是 t_f (下降时间)这一重要参数决定了各自的高频特性,也决定其是否能胜任彩显的行输出管。将 2SD1427($t_f=1\mu$ s)彩电行管用于彩显,由于其下降时间太长,截止损耗太大,会在一两分钟内因剧烈发热而烧坏,BU508A 勉强可以用,但发热较严重,应加强散热。2SD1403 是目前最便宜好购的代换管,基本能安全工作于行频 40kHz 以下的各种扫描模式。但使用中一定要注意避免进入 1024 \times 768 以上的逐行扫描模式,否则仍然极易烧毁!因此,彩显对行输出管的参数选择余量应大于彩电,最好使用 P_{cm} 在 60W 以上, BV_{ceo} 大于 1200V, I_{cm} 大于 5A 的开关管。

2)行输出管的分类及检测

目前,彩显和彩电所采用的行输出管主要分为两类,一类是不带阻尼的三极管,这种三极管的检测方法和前面介绍的大功率三极管的检测方法相同;另一类是内含阻尼器的三极管,也就是说,这种三极管将阻尼二极管和三极管集成在一起。内含阻尼器的行管其内部构造如图 5-18 所示。

这种管子的 b、e 极间有一个阻值较小的保护电阻, c、e 极间接有一只阻尼二极管。判断带阻尼的三

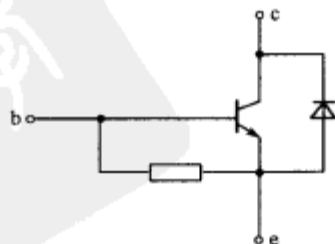


图 5-18 内含阻尼器的行管内部构造

极管的好坏,可以用万用表测量各引脚间开路电阻来实现,将万用表置 $R \times 1$ 挡,黑表笔接 e 极,红表笔接 c 极,此时相当于测量管内阻尼二极管的正向电阻,测得的阻值一般较小;调换表笔,相当于测量阻尼二极管的反向电阻,测得的阻值较大,一般大于 $300k\Omega$ 。将黑表笔接 b 极,红表笔接 c 极时测得的正向电阻,阻值一般也较小;将红、黑表笔对调后,测得的阻值应在 $1M\Omega$ 以上。将黑表笔接 b 极,红表笔接 e 极时,相当于测量大功率管发射结等效二极管与保护电阻 R 并联后的阻值。由于等效二极管的正向电阻较小,反向电阻较大,因此两者并联后正向测得的阻值也较小,而反向测得的阻值约等于保护电阻 R 的值。

以上方法也可以用来判别某型号行输出管中是否带阻尼二极管和保护电阻。

带阻尼行输出管损坏后,应尽量选用同类型的管子代换。若无同类型管,可选用性能相近的带阻尼管进行代换,若代换后,因性能差异导致管子发热,解决办法是在代换管的 b、e 结上并联一个 27Ω 的小电阻,一般可排除故障。

另外,内含阻尼器的行输出管也可用一只大功率管与一只快恢复二极管并联后进行代换。代换时,要求其 c、e 极间反向耐压值大于电源电压的 8 倍~10 倍,其耗散功率大于 $50W$ 。

3) 常用行输出管主要技术参数

彩电和彩显常用行输出管主要技术参数见表 5-4。

表 5-4 行输出管主要技术参数

型号	BV_{bo}/V	I_{m}/A	P_{cm}/W	备注
C3026	1700	5	50	
C3461	1100	8	140	
C3482	1500	6	120	内含阻尼器
C3883	1500	5	50	内含阻尼器
C3885	1400	7	50	
C3886	1400	8	50	
C3887	1400	7	80	
C3888	1400	8	80	
C3891	1400	6	50	内含阻尼器
C3892	1400	7	50	内含阻尼器
C3893	1400	8	50	内含阻尼器
C3895	1400	7	60	
C3896	1400	8	70	
C4122	1500	6	60	内含阻尼器
C4123	1500	7	60	内含阻尼器
C4124	1500	8	70	内含阻尼器
C4125	1500	10	70	内含阻尼器
C4237	800	10	150	
C4293	1500	5	50	内含阻尼器

(续)

型号	BV_{ceo}/V	I_{cm}/A	P_{cm}/W	备注
C4294	1500	6	50	内含阻尼器
C4747	1500	10	50	
C4769	1500	7	60	内含阻尼器
C5020	1000	7	100	
C5048	1500	12	50	
C5129	1500	6	50	
C5148	1500	8	50	
C5207	1500	10	50	
C5250	1000	7	100	
C5299	1400	8	60	
C5387	1500	10	50	
C5418	1500	6	120	内含阻尼器
D1396	1500	2	50	内含阻尼器
D1398	1500	5	50	内含阻尼器
D1426	1500	3.5	80	内含阻尼器
D1879	1500	5	60	内含阻尼器
D1428	1500	6	80	内含阻尼器
D1455	1500	5	50	内含阻尼器
D2125	1500	5	50	内含阻尼器
D1554	1500	3.5	40	内含阻尼器
D870	1500	5	50	内含阻尼器
D1878	1500	6	60	内含阻尼器
BU2508DF	1500	8	125	内含阻尼器
BU2520DF	1500	10	125	内含阻尼器
BU2522DF	1500	10	80	内含阻尼器
BU2520AF	1500	10	45	
BU2508AF	1500	8	45	
BU2522AF	1500	10	45	
BU2520AX	1500	10	45	

第四节 对管的检测

为了提高功率放大器的功率、效率和减小失真,通常采用推挽式功率放大电路,即一个完整的正弦波,它的正、负半周分别由两个管子—“推”—“拉”(挽)共同来完成放大任务。这两个管子的工作性能必须一样,事先要进行挑选“配对”,这种管子称为“对管”。

对管有同极性对管和异极性对管。同极性对管指两个管子均用 PNP 型或 NPN 型

三极管。但在电路输入端,必须要有一个变压器构成倒相电路,把输入信号变为两个大小相等、相位相反的信号,供对管来放大。这在早期半导体收音机中较多见。异极性对管是指两个管子中一个采用 PNP 型,另一个采用 NPN 型管。它可以省去倒相及输出变压器,即常称的 OTL 电路。两个管子又叫互补对管。例如 2SA1015 和 2SC1815、2N5401 和 2N5551、2SA1301 和 2SC3280 等均可组成互补对管。它们的主要技术参数见表 5-5。其中 A1015、C1815 为小功率对管,可作音频放大器或作激励、驱动级。2N5401、2N5551 为高压中功率对管。A1301、C3280 为高压大功率对管,比较理想输出功率为 80W,极限功率为 120W。

表 5-5 功放对管主要技术参数

型号	BV_{ce0}/V	I_{cm}/A	P_{cm}/W
A1015 C1815	50	0.15	0.4
2N5401 2N5551	60	0.6	0.6
A1301 C3280	160	12	120

挑选对管时,不管是同极性对管还是异极性对管,它们的材料(锗或硅)应相同。这样可以减小因温度变化造成管子参数变化的不一致,如 9012 和 9013、8050 和 8550 等均是同一硅材料的异极性对管。另外,作为对管还要求两管子的参数尽可能一样。如耐压、集电极最大允许电流和最大允许耗散功率、电流放大倍数等。

除以上介绍的两只分立三极管组成的对管外,还有一种把两只性能一致的三极管封装成一体复合对管,它的内部包含有两只对称性很好的三极管,此类对管一般有两种结构类型,一种为硅 PNP 型高频小功率差分对管,另一种为硅 NPN 型小功率差分对管。管脚排列如图 5-19 所示。利用差分对管可构成性能优良的差分放大器,用作仪器仪表的输入级和前置放大级,使用起来十分方便。

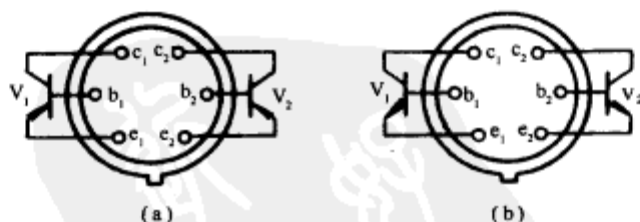


图 5-19 复合对管管脚排列
(a)PNP 型; (b)NPN 型。

差分对管的管脚排列是有一定规律的,其中,靠近管键的两管脚分别为 e_1 和 e_2 , V_1 按顺时针方向排列为 e_1 、 b_1 、 c_1 , V_2 按反时针方向排列为 e_2 、 b_2 、 c_2 。

可按前面有关内容的介绍进行对管的检测,这里不再具体分析。

第五节 达林顿管的检测

达林顿管采用复合连接方式,将两只或更多只晶体管的集电极连在一起,而将第一只晶体管的发射极直接耦合到第二只晶体管的基极,依次级联而成,最后引出 e 、 b 、 c 三个电极。达林顿管的放大倍数是各三极管放大倍数的乘积,因此其放大倍数可达几千。达林

顿管主要分为两种类型,一种是普通达林顿管,另一种是大功率达林顿管,下面分别介绍。

一、普通达林顿管

普通达林顿管内部无保护电路,功率通常在 2W 以下。内部电路和外形如图 5-20 所示。

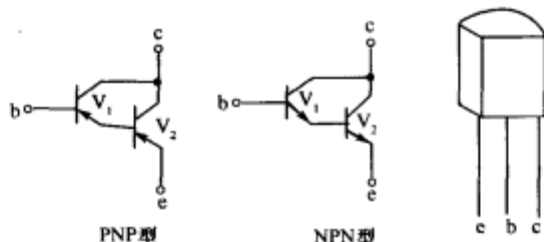


图 5-20 普通达林顿管内部电路和外形

用万用表对普通达林顿管的检测包括识别电极、区分 PNP 和 NPN 类型、估测放大能力等。因为达林顿管的 e-b 极之间包含多个发射结,所以应该使用万用表能提供较高电压的 $R \times 10k$ 挡进行测量。

下面以检测图 5-21 所示的达林顿管为例进行说明,为便于叙述方便,从左至右依次标为①、②、③脚。

1. 识别基极 b 及管子类型

将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,红表笔接②脚,黑表笔接①脚,测得电阻值为 $11k\Omega$,调换表笔再测,阻值为无穷大;将红表笔接②脚,黑表笔接③脚,测得的电阻值为 $5.2k\Omega$,调换表笔测得阻值为无穷大;将红表笔接①脚,黑表笔接③脚,测得的电阻值为 $250k\Omega$,调换表笔测得电阻值为 $900k\Omega$ 。由上述测试结果便可以判定②脚为基极,且被测管为 PNP 型达林顿管。



图 5-21 被测达林顿管外形

2. 判别管子集电极 c、发射极 e 和检测放大能力

首先将红表笔接③脚,黑表笔接①脚,电阻值为 $900k\Omega$,然后保持两表笔与相应管脚接触不变,用舌尖去舔基极引脚②,此时万用表指针大幅度向右摆动到 $30k\Omega$ 位置。最后将红、黑表笔对调,即将红表笔接①脚,黑表笔接③脚,万用表指示为 $250k\Omega$ 。保持表笔位置不动,并再次用舌尖去舔基极引脚②,此时万用表指针保持原位不动。由此判定被测达林顿管的①脚为发射极 e,③脚为集电极 c。测试过程还表明管子的放大能力很强。测试时需要注意:因为 $R \times 1k$ 挡电池电压仅为 1.5V,所以不宜使用此挡检测达林顿管的放大能力。

二、大功率达林顿管

1. 大功率达林顿管的特性

普通型达林顿管具有明显的缺点:由于其电流增益极高,所以当温度升高时,前级二级管的基极漏电流将被逐级放大,结果造成整体热稳定性能变差。当环境温度较高、漏电严重时,有时易使管子出现误导通现象,为了克服这种不足,大功率达林顿管在普通达林

顿管的基础上均增加了保护功能,从而适应了在高温条件下工作时功率输出的需要。大功率达林顿管的外形如图 5-22 所示。内部结构原理图如图 5-23 所示。

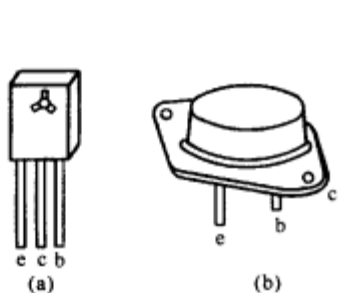


图 5-22 大功率达林顿管的外形

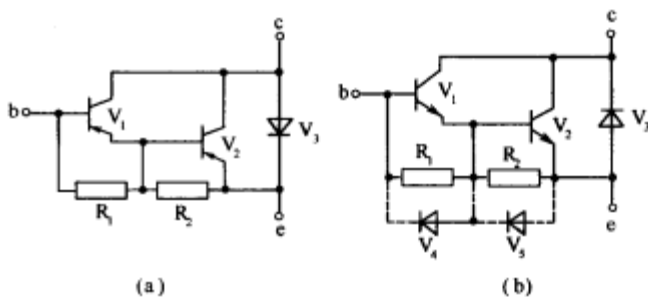


图 5-23 大功率达林顿管的内部结构

(a)PNP 型; (b)NPN 型。

由原理图可见,这类管子在 c 和 e 之间反向并接了一只起过压保护作用的续流二极管 V_3 ,当感性负载(如继电器线圈)突然断电时,通过 V_3 可将反向尖峰电压泄放掉,从而保护内部晶体三极管不被击穿损坏。另外,在晶体三极管 V_1 和 V_2 的发射结上还分别并入了电阻 R_1 和 R_2 。 R_1 和 R_2 的作用是为漏电流提供泄放支路。因而称之为泄放电阻。因为 V_1 的基极漏电流比较小,所以 R_1 的阻值通常取得较大些; V_1 的漏电流经放大后加到 V_2 的基极上,加之 V_2 自身存在的漏电流,使得 V_2 基极漏电流比较大,因此 R_2 的阻值通常取得较小。一般在设计大功率达林顿管时, R_1 常取几千欧,而 R_2 则取几十欧,这样可使两者之间满足 $R_2 \ll R_1$ 的关系。

大功率达林顿管中的保护元件 V_3 以及泄放电阻 R_1 、 R_2 ,均全部集成在管芯上,再用塑料或金属外壳进行封装,并引出相应电极。

2. 大功率达林顿管的检测

检测大功率达林顿管的方法与检测普通型达林顿管基本相同。但由于大功率达林顿管内部设置了 V_3 、 R_1 、 R_2 等保护和泄放漏电流元件,所以在检测时应将这些元件对测量数据的影响加以区分,以免造成误判。具体可按下述几个步骤进行。

(1)用万用表 $R \times 10k$ 挡测量 b 、 c 之间 PN 结电阻值,应明显测出具有单向导电性能。正、反向电阻值应有较大差异。

(2)在大功率达林顿管 b 、 e 之间有两个 PN 结,并且接有电阻 R_1 和 R_2 。用万用表电阻挡检测时,当正向测量时,测到的阻值是 b 、 e 结正向电阻值与 R_1 、 R_2 阻值并联的结果;当反向测量时,发射结截止,测出的则是 $(R_1 + R_2)$ 电阻之和,大约为几千欧,且阻值固定,不随电阻挡位的变换而改变。但需要注意的是,有些大功率达林顿管在 R_1 、 R_2 上还分别并有二极管 V_4 和 V_5 ,因此当 b 、 e 之间加上反向电压(即红表笔接 b ,黑表笔接 e)时,所测得的则不是 $(R_1 + R_2)$ 之和,而是 $(R_1 + R_2)$ 与两只二极管正向电阻之和的并联电阻值。

(3)大功率达林顿管的 e 、 c 之间并联有二极管 V_3 ,所以,对于 NPN 型管,当黑表笔接 e ,红表笔接 c 时,二极管应导通,所测得的阻值即是二极管 V_3 的正向电阻值;对于 PNP 型管,则红、黑表笔对调,所测阻值为 V_3 的正向电阻值。

(4)检测大功率达林顿管放大能力的方法与检测普通达林顿管的操作方法相同,可参照进行。

第六节 带阻三极管的特性与检测

带阻三极管又叫状态三极管,是一种内含一个或数个电阻的三极管,其外形往往与同类普通三极管没什么区别,但在电路中大都不能互换,而且盲目代换往往会烧坏管子或引起电路故障。近年来,带阻三极管的应用已十分普及,在彩电、录放像机中均有较多的应用。

一、带阻三极管的特性

带阻三极管主要品种是小功率管,通常以塑封及片状形式为多见,在家用电器和其他电子装置中主要用作电子开关及反相器。这类管子最常见的品种为内含两个等值电阻的单晶体管,其中一个电阻串接在基极中,另一个电阻并联在基极与发射极间,如图 5-24 所示。

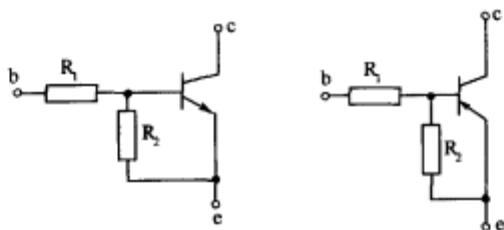


图 5-24 状态转换三极管

带阻三极管的电路符号及字母代号较杂乱,尤其是国外及合资产品电路图中更是如此,图 5-25 给出了几种常见电路符号供参考。带阻三极管代号一般用 QR 表示。

公司 符号	松下、东芝、 蓝宝	三洋、日电、 罗兰士、 丰泽	夏普、 飞利浦	日立	富丽、 珠波
PNP 型					
NPN 型					

图 5-25 带阻三极管的电路符号

状态转换三极管是由一个三极管及一两个内接电阻组成的带阻三极管,常用 QR 表示。如图 4-7 所示。

带阻三极管在电路中使用时相当于一个开关电路,当状态转换三极管饱和导通时 I_c 。

很大,ce 间输出电压很低,当状态转换三极管截止时, I_c 很小,ce 间输出电压很高,相当于 V_{cc} (供电电压)。管子中的 R_1 决定了管子的饱和深度, R_1 越小,管子饱和越深, I_c 电流越大,ce 间输出电压很低,抗干扰能力越强,但 R_1 不能太小,否则会影响开关速度。 R_2 的作用是为了减小管子截止时集电极的反向电流,并可减小整机的电源消耗。

常用带阻三极管内接电阻值见表 5-6。

表 5-6 常见带阻三极管内接电阻值

产品型号		$R_1/k\Omega$	$R_2/k\Omega$	代换型号
NPN	PNP			
GR1201	GR1101	4.7	4.7	UN221L、UN211L、DTC143EK、DTA143EK、KSR1101、KSR2101
GR1202	GR1102	10	10	UN2211、UN2111、DTC114EK、DTA114EK、KSR1102、KSR2102
GR1203	GR1103	22	22	UN2212、UN2112、DTC124EK、DTA124EK、KSR1103、KSR2103
GR1204	GR1104	47	47	UN2213、UN2113、DTC144EK、DTA144EK、KSR1104、KSR2104
GR2201	GR2101	4.7	4.7	UN421L、UN411L
GR2202	GR2102	10	10	UN4211、UN4111
GR2203	GR2103	22	22	UN4212、UN4112
GR2204	GR2104	47	47	UN4213、UN4113
GR3201	GR3101	4.7	4.7	RN1001、RN2001、KSR1001、KSR2001
GR3202	GR3102	10	10	RN1002、RN2002、KSR1002、KSR2002
GR3203	GR3103	22	22	RN1003、RN2003、KSR1003、KSR2003
GR3204	GR3104	47	47	RN1004、RN2004、KSR1004、KSR2004
GR4201	GR4101	4.7	4.7	UN121L、UN111L
GR4202	GR4102	10	10	UN1211、UN1111
GR4203	GR4103	22	22	UN1212、UN1112

二、带阻三极管的检测

1. 判别带阻三极管的极性与电极

带阻三极管是由一个晶体管芯及两个内接电阻组成的,所以带阻三极管的极性与各电极的判别方法与普通三极管相同,所不同的是,在判别时应考虑内电路的 R_1 和 R_2 。

2. 测试带阻三极管的 U_{OH} 、 U_{OL}

U_{OH} 称为带阻三极管的输出高电位值,它表征了带阻三极管在规定的低电位输入下,集电极输出处于关闭状况的好坏,其电压值越接近 U_{cc} 越好。

U_{OL} 称为输出低电位值,它表征了带阻三极管在规定的低电位输入下,集电极输出的导通情况的好坏,其值越小越好。下面以 NPN 型带阻三极管为例说明,测试电路如图

5-26所示。

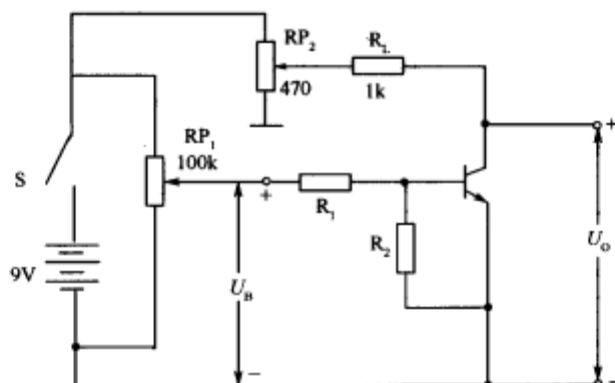


图 5-26 带阻三极管 U_{OH} 、 U_{OL} 测试电路

9V 电源可用稳压电源或干电池,测试前,两个电位器 RP_1 、 RP_2 均调到零。合上开关 S,先调节 470Ω 电位器,使 U_{ce} 调到规定测试条件,例如某管选 $U_{ce}=5V$, R_L 选 $1k\Omega$ 再调 $100k\Omega$ 电位器,使 U_B 调到规定电压,如 $U_B=0.5V$,用万用表测定集电极输出端电压 U_O ,此时的 U_O 即为 U_{OH} 。再调整 $100k\Omega$ 电位器使 U_B 逐步上调,一直调到规定值,例如上述的某管 $U_B=0.5V$ 。在 U_B 上调时, U_O 下降。当 U_B 达到规定值时, U_O 就相当小了,此时 U_O 也就是 U_{OL} 。

第七节 光敏三极管的检测

光敏三极管是在光敏二极管的基础上发展起来的一种光敏元件。它不但能实现光电转换,而且还具有放大功能,因而被广泛应用在光控电路中。

一、光敏三极管的特性和主要参数

1. 光敏三极管的特性

光敏三极管有 PNP 和 NPN 两种类型,且有普通型和达林顿型之分。其文字符号与普通三极管相同,也用 V 表示。其电路图形符号和外形如图 5-27 所示。

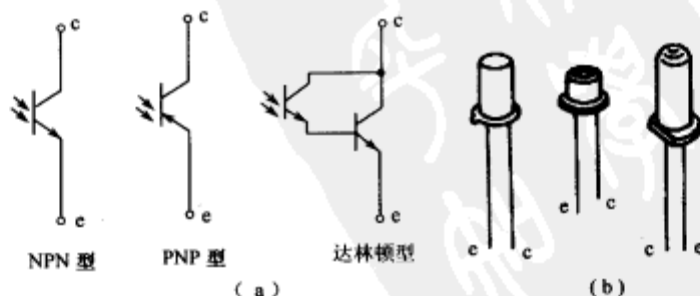


图 5-27 光敏三极管的电路符号和外形
(a)电路符号; (b)外形。

光敏三极管的工作原理可等效为光敏二极管和普通三极管的组合,如图 5-28 所示。

基—集 PN 结就相当于一个光敏二极管,在光照下产生的光电流 I_L 输入到三极管的基极进行放大,所以在三极管的集电极输出的光电流可达 βI_L 。因为光敏三极管的基极输入的是光信号,因此它通常只有两个管脚,即发射极 e 和集电极 c。

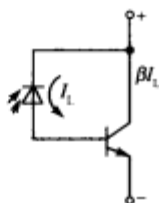


图 5-28 光敏三极管的等效电路

重点提示:光敏二极管、光敏三极管是电子电路中广泛采用的光敏器件。光敏二极管和普通二极管一样具有一个 PN 结,不同之处是在光敏二极管的外壳上有一个透明的窗口以接收光线照射,实现光电转换,在电路图中文字符号一般为 VD。光敏三极管除具有光电转换的功能外,还具有放大功能,在电路图中文字符号一般为 VT。光敏三极管因输入信号为光信号,所以通常只有集电极和发射极两个管脚线。同光敏二极管一样,光敏三极管外壳也有一个透明窗口,以接收光线照射。

2. 光敏三极管的主要参数

光敏三极管有如下几个主要参数。

(1)最高工作电压(V_{∞})。最高工作电压是指在没有光照状态下,e、c 极之间漏电流不超过规定值(约 $0.5\mu\text{A}$)时,光敏三极管所允许施加的最高工作电压,一般在 $10\text{V}\sim 50\text{V}$ 之间。

(2)暗电流 I_D 。暗电流是指在没有光照时,光敏三极管 e、c 极之间的漏电流,一般小于 $1\mu\text{A}$ 。

(3)光电流 I_L 。光电流是指在受到一定光照时,光敏三极管的集电极电流,通常可达几 mA。

(4)最大允许功耗 P_m 。最大允许功耗是指光敏三极管在不损坏前提下所能承受的最大功耗。

二、光敏三极管的检测

1. 光敏三极管的管脚识别

靠近管键的或者比较长的一管脚为发射极 e,离管键较远或较短的一管脚为集电极 c。另外,对于达林顿型光敏三极管,封装缺圆的一侧则为集电极 c。

2. 检测光敏三极管的暗电阻

将光敏三极管的受光窗口用黑纸片遮住,万用表置于 $R\times 1\text{k}$ 挡,红、黑表笔各接光敏三极管的一个管脚,此时所测得的阻值应为无穷大。然后将红、黑表笔对调再测量一次,阻值也应为无穷大。测试时,如果万用表指针向右偏转指示出阻值,说明被测光敏三极管漏电。

3. 检测光敏三极管的亮电阻

万用表仍使用 $R\times 1\text{k}$ 挡,将红表笔接发射极 e,黑表笔接集电极 c,然后将遮光黑纸片从光敏三极管的受光窗口处移开,并使受光窗口朝向某一光源(如白炽灯泡),这时万用表指针应向右偏转。通常电阻值应在 $15\text{k}\Omega\sim 30\text{k}\Omega$ 左右。指针向右偏转角度越大,说明被测光敏三极管的灵敏度越高。如果受光后,光敏三极管的阻值较大,即万用表指针向右摆动幅度很小,则说明灵敏度低或已损坏。

第八节 晶体管阵列器件

把几只晶体三极管封装在一起,外形像一块集成电路的器件就叫作晶体管阵列器件,简称晶体管阵列或阵列晶体管。

晶体管阵列器件的优点首先是便于在许多设计场合中使用。例如在许多情况下晶体管的发射极都是要接地的(共发射极放大器),或是集电极都要接电源正端(共集电极放大器或射极跟随器),此时如使用阵列晶体管就会使印制电路板的排列紧凑而简化,焊点也可相应减少。

其次是电路性能的一致性得到改善。这是因为阵列器件制造时工艺条件一致性较好,因封装在一起,当环境(例如温度、湿度等)变化时,引起的参数波动较为一致。

第三,由于阵列器件有一定程度的集成化功能,所以可做出较为复杂的复合晶体管阵列,例如达林顿型阵列、大功率管阵列、双管二级放大器型阵列等,因此可以简化外电路设计。

常见的晶体管阵列结构如图 5-29 所示,其相应外形如图 5-30 所示,结构和外形对照见表 5-6。

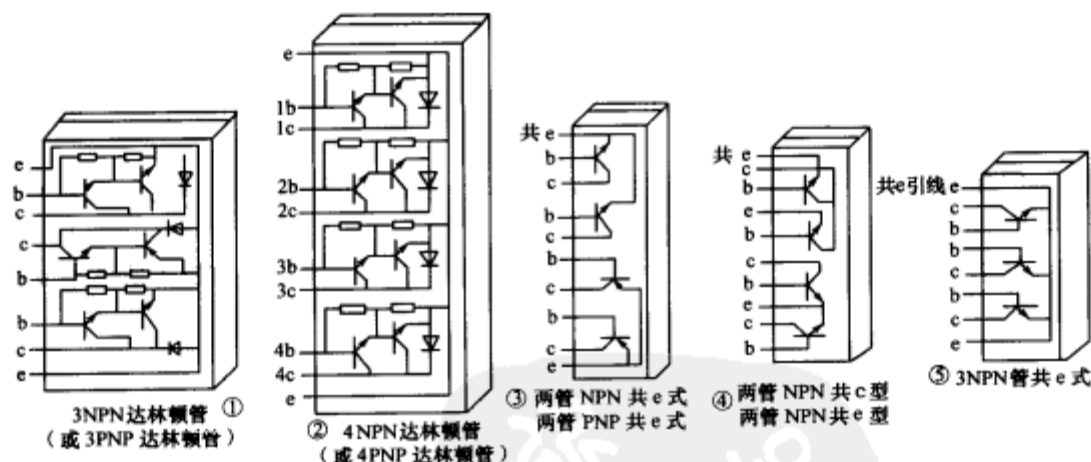


图 5-29 常见晶体管阵列的结构

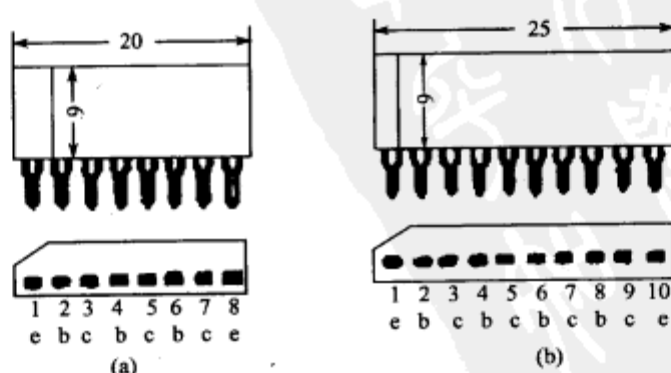


图 5-30 常见晶体管阵列的外形

表 5-7 常见晶体管阵列器件

型号	阵列结构	阵列外形
ST301A	3NPN 达林顿,如图①	如图 5-30(a)
ST302A	3PNP 达林顿	
ST401A	4NPN 达林顿,如图②	如图 5-30(b)
ST402A	4PNP 达林顿	
ST431A	2NPN 共 e,2PNP 共 e,如图③	
ST441C	2NPN 共 c,2PNP 共 e,如图④	
ST342M	3NPN 共 e,如图⑤	如图 5-30(a)

第九节 三极管的特殊用途

半导体三极管除了构成放大器和作开关元件外,还能够做成一些可独立使用的两端或三端器件。

一、扩流

把一只小功率可控硅和一只大功率三极管组合,就可得到一只大功率可控硅,其最大输出电流由大功率三极管的特性决定,如图 5-31 所示。

图 5-32 为电容容量扩大电路。利用三极管的电流放大作用,将电容容量扩大若干倍。这种等效电容和一般电容器一样,适用于在长延时电路中作定时电容。

用稳压二极管构成的稳压电路虽具有简单、元件少、制作经济方便的优点,但由于稳压二极管的稳定电流一般只有数十毫安,因而决定了它只能用在负载电流不太大的场合。图 5-33 可使原稳压二极管的稳定电流及动态电阻范围得到较大的扩展,稳定性能可得到较大的改善。

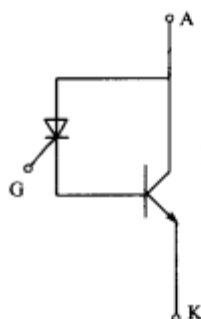


图 5-31 小功率可控硅
和三极管的组合

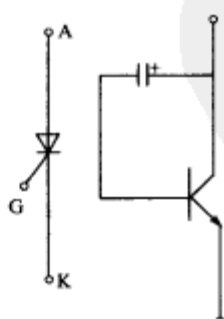


图 5-32 电容和三
极管的组合

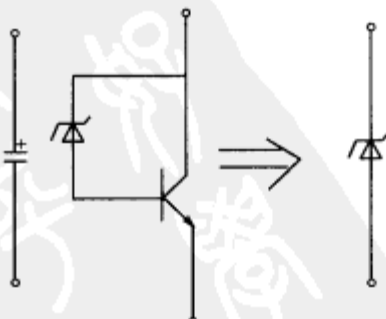


图 5-33 稳压管和三
极管的组合

二、代换

图 5-34(a)中的两只三极管串联可直接代换调光台灯中的双向触发二极管;图(b)中的三极管可代用 8V 左右的稳压管。图(c)中的三极管可代用 30V 左右的稳压管。上述

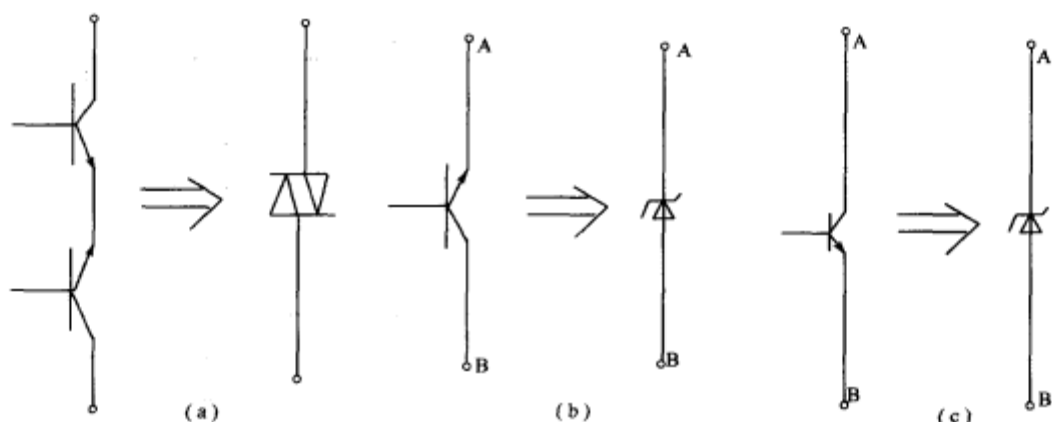


图 5-34 用三极管代换其他元件

应用中,三极管的基极均不使用。

三、模拟

用三极管构成的电路还可以模拟其他元器件。大功率可变电阻价贵难觅,用图 5-35 电路可作模拟品,调节 510 欧电阻的阻值,即可调节三极管 c、e 极之间的阻抗,此阻抗变化即可代替可变电阻使用。

图 5-36 为用三极管模拟的稳压管。其稳压原理是:当加到 A、B 两端的输入电压上升时,经 R_1 、 R_2 分压后,使 R_2 两端压降上升,因为三极管的 b-e 结压降基本不变,故经过 R_2 的电流上升,三极管发射结正偏增强,其导通性也增强,c、e 极间呈现的等效电阻减小,压降降低,从而使 AB 端的输入电压下降。调节 R_2 即可调节此模拟稳压管的稳压值,等效为稳压管。

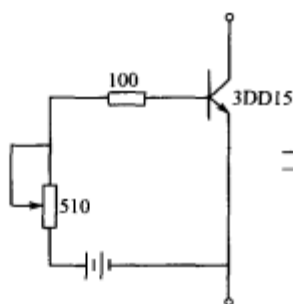


图 5-35 模拟可变电阻

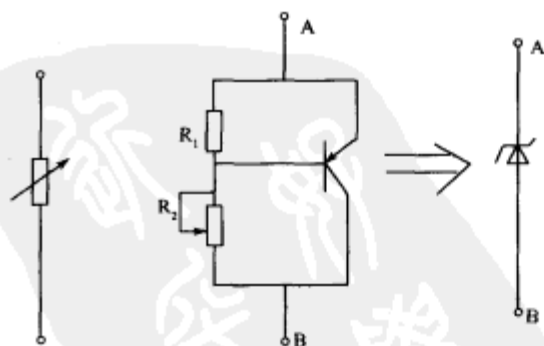


图 5-36 模拟稳压管

第六章 场效应管的识别及检测

场效应管(英文简称 FET)是一种利用电场效应来控制电流的管子,由于参与导电的只有一种极性的载流子,所以,场效应管也称为单极性三极管。场效应管外形与三极管相似,也有三个电极,即源极 S(对应于三极管的 e 极)、栅极 G(对应于三极管的 b 极)和漏极 D(对应三极管的 c 极)。但二者的控制特性却截然不同,三极管是电流控制元件,通过控制基极电流达到控制集电极电流或发射极电流的目的,即需要信号源提供一定的电流才能工作,因此,它的输入电阻较低,场效应管则是电压控制元件,它的输出电流决定于输入电压的大小,基本上不需要信号源提供电流,所以,它的输入阻抗很高。此外,场效应管还具有开关速度快、高频特性好、热稳定性好、功率增益大、噪声小等优点,因此,在电子设备电路中得到了广泛的应用。场效应管可分为两大类,一类是结型场效应管(JFET),另一类是绝缘栅场效应管(MOSFET)。本章重点介绍这两种场效应管的特性、识别和检测等内容。

第一节 结型场效应管的检测

结型场效应管(JFET)是利用加在 PN 结上的反向电压的大小控制 PN 结的厚度,从而改变导电沟道的宽窄,实现对漏极电流的控制作用。结型场效应管可分为 N 沟道结型场效应管和 P 沟道结型场效应管。

一、结型场效应管的结构和原理

图 6-1(a)绘出了结型场效应管的结构示意图。在两个 P 型区中间夹着一层 N 型区,形成了两个 PN 结。从 N 区两端引出两个电极,分别称为漏极 D 和源极 S;两个 P 区连接起来后引出一个电极,叫做栅极 G,很薄的 N 型区作为电流的通路,称为导电沟道。栅极 G 是用来控制流过沟道的电流大小的,这种结构的场效应管叫做 N 沟道结型场效应管,其电路符号如图(b)所示。

此外,还有一种 P 沟道结型场效应管,其工作原理与 N 型的相同,使用上的唯一区别是外接电源的极性相反,其结构及电路符号如图 6-2 所示。

从结型场效应管的结构可以看出,在栅极和导电沟道之间存在一个 PN 结。假设在栅极和源极之间加上反向电压 U_{GS} ,使 PN 结反向偏置,则可以通过改变 U_{GS} 的大小来改变耗尽层的宽度。例如,当反向电压的值 U_{GS} 变大时,耗尽层将变宽,于是导电沟道的宽度相应地减小,使沟道本身的电阻值增大,于是,漏极电流 I_D 将减小。所以,通过改变 U_{GS} 的大小,即可控制漏极电流 I_D 的值。

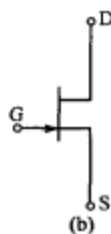
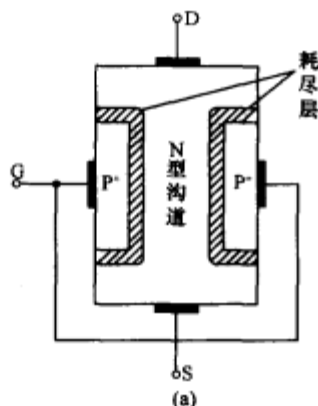


图 6-1 N 沟道结型场效应管
(a)结构示意图; (b)电路符号。

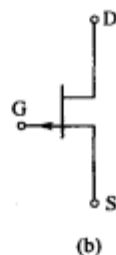
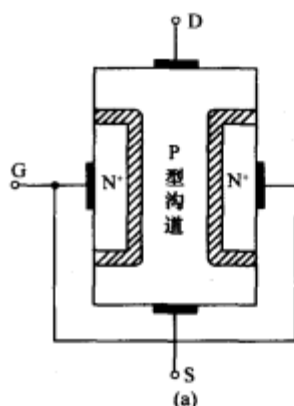


图 6-2 P 沟道结型场效应管
(a)结构示意图; (b)电路符号。

重点提示:场效应管是利用栅极和源极之间的电压 U_{GS} 来改变 PN 结中的电场, 然后控制漏极电流 I_D , 对于结型场效应管来说, 总是在栅极和源极之间加上个反向偏置电压, 使 PN 结反向偏置, 此时可以认为栅极基本上不流入电流, 因此, 场效应管的输入电阻很高, 可达 $10^7 \Omega$ 以上。

二、结型场效应管的特性曲线和参数

1. 结型场效应管的特性曲线

和半导体三极管类似, 结型场效应管的特性曲线也有两种, 即转移特性曲线和漏极特性曲线。在一定的漏源电压下, 栅源电压 U_{GS} 和漏源电流 I_{DS} 的相互关系, 叫做转移特性。在一定的栅源电压下, 漏源电压 U_{DS} 和漏源电流 I_{DS} 的关系称为漏极特性或输出特性。结型场效应管的特性曲线如图 6-3 所示。

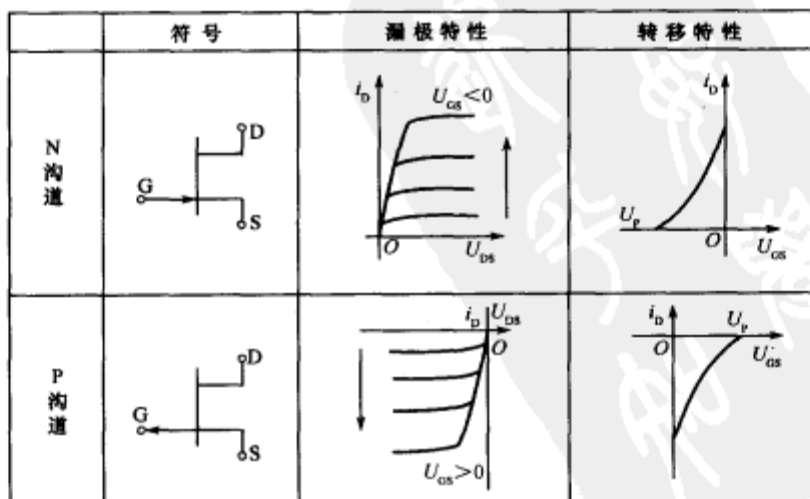


图 6-3 结型场效应管的特性曲线

2. 结型场效应管的参数

结型场效应管的主要参数有以下几项。

1) 饱和漏源电流 I_{DSS}

在一定的漏源电压下,当栅压 $U_{GS}=0$ 时(栅源两极短路)的漏源电流称为饱和漏源电流 I_{DSS} 。

2) 夹断电压 V_P

在一定的漏源电压下,使漏源电流 $I_{DS}=0$ 或小于某一小电流值时的栅源偏压值称为夹断电压 V_P 。

3) 直流输入电阻 R_{GS}

在栅源极之间加一定电压的情况下,栅源极之间的直流电阻称为直流输入电阻 R_{GS} 。因为栅源极之间的 PN 结是反向偏置,所以好像二极管的反向电阻一样, R_{GS} 是很大的。

4) 输出电阻 R_D

当栅源电压 U_{GS} 为某一定值时,漏源电压的变化与其对应的漏极电流的变化之比称为输出电阻 R_D 。

5) 跨导 g_m

在一定的漏源电压下,漏源电流的变化量与引起这个变化的相应的栅压的变化量的比值称为跨导 g_m ,单位为 $\mu A/V$,即 $\mu\Omega$ (微姆)。这个数值是衡量场效应管栅极电压对漏源电流控制能力的一个参数,也是衡量场效应管放大能力的重要参数。

6) 漏源击穿电压 U_{DSS}

使 I_D 开始剧增的 U_{DS} 为漏源击穿电压 U_{DSS} 。

7) 栅源击穿电压 U_{GSS}

反向饱和电流急剧增加的栅源电压为栅源击穿电压 U_{GSS} 。

三、结型场效应管的检测

1. 判别电极及沟道类型

将万用表置于 $R \times 100$ 挡,用黑表笔接触假定为栅极 G 的管脚,然后用红表笔分别接触另两个管脚。若阻值均比较小(几百欧至 $1k\Omega$),再将红、黑表笔交换测量一次。如阻值均很大,属 N 沟道管,且黑表笔接触的管脚为栅极 G,说明原先的假定是正确的。同样也可以判别出 P 沟道的结型场效应管。

由于结型场效应管的源极和漏极在结构上具有对称性,所以一般可以互换使用,通常两个电极不必再进一步进行区分,当用万用表测量源极 S 和漏极 D 之间的电阻时,正反向电阻均相同,正常时为几千欧左右。

2. 检测放大能力

下面以 N 沟道结型场效应管为例说明,测试电路如图 6-4 所示。

将万用表置于直流 $10V$ 挡,红、黑表笔分别接漏极和源极。测试时,调节 R_P ,万用表指示的电压值应按下述规律变化: R_P 向上调,万用表指示电压值升高; R_P 向下调,万用表指示电压值降低。这种变化说明管子有放大能力。在调节 R_P 过程中,万用表指示的电压值变化越大,说明管子的放大能力越强。如果在调节 R_P 时,万用表指示变化不明显或根本无变化,说明管子放大能力很小或已经失去放大能力。

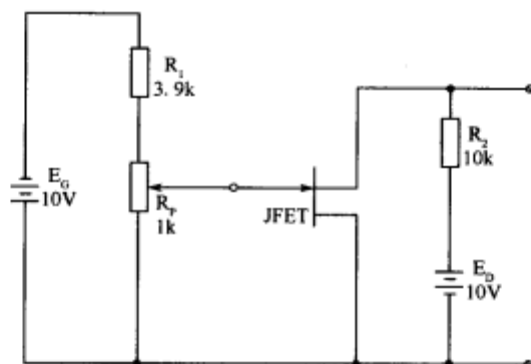


图 6-4 检测结型场效应管的放大能力

3. 检测夹断电压 V_P

下面以 N 沟道结型场效应管为例说明,准备一只 $220\mu\text{F}/16\text{V}$ 的电解电容,将万用表置于 $R \times 10\text{k}$ 挡,先将黑表笔接电解电容正极,红表笔接电解电容负极,对电容充电 $8\text{s} \sim 10\text{s}$ 后脱开表笔;再将万用表拨至直流 50V 挡,迅速测出电解电容上的电压,并记下此值;然后按图 6-5 进行测试。

将万用表拨回至 $R \times 10\text{k}$ 挡,黑表笔接漏极 D,红表笔接源极 S,这时指针应向右旋转。指示基本为满度;将已充好电的电解电容正极接源极 S,用负极去接触栅极 G,这时指针应向左回转,一般指针退回至 $10\text{k}\Omega \sim 200\text{k}\Omega$ 时,电解电容上所充的电压值即为 JFET 的夹断电压 V_P 。测试过程中应注意,如果电容上所充的电压太高,会使 JFET 完全夹断,万用表指针可能退回至无穷大。遇到这种情况,可用直流电压 10V 挡将电解电容适当放电,直到使电解电容接至栅极 G 和源极 S 后量出的电阻值在 $10\text{k}\Omega \sim 200\text{k}\Omega$ 范围内为止。

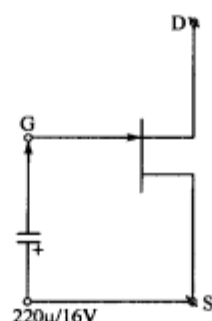


图 6-5 检测结型场效应管的夹断电压

第二节 绝缘栅场效应管的检测

结型场效应管(JFET)的输入电阻是 PN 结的反向电阻,可达 $10^7\Omega$ 以上,为进一步提高其输入电阻,研制了一种 G 极与 D、S 完全绝缘的场效应管,称为绝缘栅场效应管,又因它是由金属(M)作电极,氧化物(O)作绝缘层和半导体(S)组成的金属—氧化物—半导体场效应管,所以,称之为 MOS 管。

由于绝缘栅场效应管的栅极被绝缘层隔离,因此其输入电阻很高,可达 $10^9\Omega \sim 10^{15}\Omega$ 。绝缘栅场效应管制作工艺简单,温度稳定性好,特别适合于做成大规模集成电路,应用十分广泛。

一、绝缘栅场效应管的结构和原理

从导电沟道来分,绝缘栅场效应管也有 N 沟道和 P 沟道两种类型。无论 N 沟道或 P 沟道,又都可以分为增强型和耗尽型两种。

绝缘栅场效应管与结型场效应管有所不同。结型场效应管是利用 U_{GS} 来控制 PN 结耗尽层的宽窄,从而改变导电沟道的宽度,以控制漏极电流 I_D 。而绝缘栅场效应管则是利用 U_{GS} 来控制“感应电荷”的多少,以改变由这些“感应电荷”形成的导电沟道的状况,然后达到控制漏极电流的目的。若 $U_{GS}=0$ 时漏源之间已经存在导电沟道,则称为耗尽型场效应管。如果当 $U_{GS}=0$ 时不存在导电沟道,则称之为增强型场效应管。

1. N 沟道增强型 MOS 场效应管的结构与原理

N 沟道增强型 MOS 场效应管的结构示意图和电路符号如图 6-6 所示,用一块掺杂浓度较低的 P 型硅片作为衬底,在其表面上覆盖一层二氧化硅(SiO_2)的绝缘层,再在二氧化硅层上刻出两个窗口,通过扩散形成两个高掺杂的 N 区(用 N+表示),分别引出源极 S 和漏极 D,然后在源极和漏极之间的二氧化硅上面引出栅极 G,栅极与其他电极之间是绝缘的。衬底也引出一根引线,用 B 表示,通常情况下将它与源极在管子内部连接在一起。由图可见,这种场效应管由金属、氧化物和半导体组成。

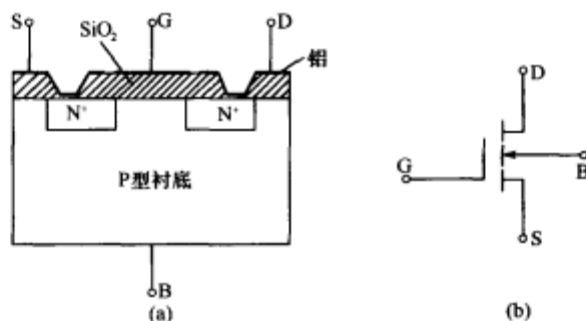


图 6-6 N 沟道增强型 MOS 场效应管的结构和符号
(a)结构示意图; (b)电路符号。

从图 6-6 可见,N+型漏区和 N+型源区之间被 P 型衬底隔开,漏极和源极之间好像是两个背靠背的 PN 结,当 $U_{GS}=0$ 时,不管漏极和源极间所加电压的极性如何,其中总有一个 PN 结是反向偏置的,反向电阻很大,漏极电流 I_D 近似为零,即不具有原始导电沟道。

如果在栅极和源极之间加正向电压 U_{GS} ,情况就会发生变化,在 U_{GS} 的作用下,产生了垂直于衬底表面的电场。由于二氧化硅绝缘层很薄,因此即使 U_{GS} 很小(如只有几伏),也能产生很强的电场强度。栅极附近硅片中的空穴被排斥,而硅片与 N+ 区中的电子被吸引,形成一个电子薄层。这个薄层就成为漏极与源极之间的导电沟道,被称为 N 型沟道。在漏源电压 U_{DS} 作用下,由于 N 型沟道导通,就形成了漏极电流 I_D ,通常把开始导电时的 U_{GS} 称为开启电压,用 U_T 表示。 U_{GS} 越大,感应的电子越多,N 型导电沟道越宽,沟道电阻就越小,漏极电流 I_D 就越大。

2. N 沟道耗尽型 MOS 场效应管的结构与原理

N 沟道耗尽型 MOS 场效应管的结构示意图和电路符号如图 6-7 所示,耗尽型的 MOS 场效应管在制造过程中预先在二氧化硅的绝缘层中掺入了大量的正离子,因此,即使栅极不加电压($U_{GS}=0$),由于静电感应,这些正离子产生的电场也能在 P 型衬底中“感应”出足够多的负电荷,形成“反型层”,从而产生 N 型的导电沟道。此时,给栅极加上正电压($U_{GS}>0$),沟道变宽, I_D 增大;反之,给栅极加上负电压($U_{GS}<0$)时,沟道变窄, I_D 减小。当栅极负电压大到一定数值 V_F (夹断电压)时,会使反型层消失, $I_D=0$ 。

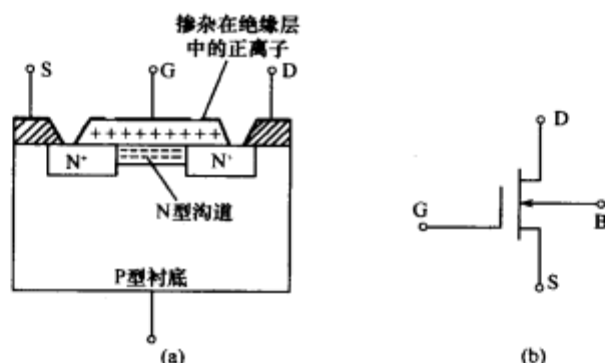


图 6-7 N 沟道耗尽型 MOS 场效应管的结构和符号

(a) 结构示意图；(b) 电路符号。

重点提示：P 沟道 MOS 场效应管也可分为增强型和耗尽型两种，它与 N 沟道 MOS 管的原理相同，只是在使用时， U_{GS} 、 U_{DS} 的极性与 N 沟道相反。

二、绝缘栅场效应管的特性曲线和参数

1. 绝缘栅场效应管的特性曲线

根据前面介绍，我们知道，绝缘栅型场效应管总共有四种场效应管。即：N 沟道增强型场效应管、N 沟道耗尽型场效应管、P 沟道增强型场效应管和 P 沟道耗尽型场效应管。四种绝缘栅场效应管的符号及特性曲线如图 6-8 所示。

	耗尽型		增强型	
	N 沟道	P 沟道	N 沟道	P 沟道
符号				
漏极特性				
转移特性				

图 6-8 四种绝缘栅场效应管的符号及特性曲线

下面以 N 沟道增强型和耗尽型 MOS 管来说明其转移特性曲线。

N 沟道增强型转移特性曲线位于坐标轴右侧,说明当 $U_{GS} \leq 0$ 时,即使加上 U_{DS} ,也没有 I_D 通过,必须 $U_{GS} > 0$ 时,管子才能正常工作,且只有当 $U_{GS} > V_T$ (开启电压)时, I_D 才受 U_{GS} 控制,随着 U_{GS} 的增加而急剧增加,而在 $0 < U_{GS} < V_T$ 之间, I_D 几乎为零,相当于是三极管的死区电压。

N 沟道耗尽型场效应管不论 G-S 间电压 U_{GS} 是正、负还是零,都能控制漏极电流 I_D ,即管子都能正常工作,所以,使用起来非常灵活。

2. 绝缘栅场效应管的参数

绝缘栅场效应管的主要参数有以下几项。

1) 夹断电压和开启电压

对于耗尽型绝缘栅场效应管,在一定的漏源 U_{DS} 电压下,使漏源电流 $I_{DS} = 0$ 或小于某一小电流值时的栅源偏压值称为夹断电压 V_P 。

对于增强型绝缘栅场效应管,在一定的漏源 U_{DS} 电压下,使沟道可以将漏源极连接起来的最小 U_{GS} 即为开启电压 V_T 。

2) 饱和漏源电流 I_{DSS}

对于耗尽型绝缘栅场效应管,在一定的漏源电压 U_{DS} 下,当栅压 $U_{GS} = 0$ 时(栅源两极短路)的漏源电流称为饱和漏源电流 I_{DSS} 。

3) 直流输入电阻 R_{GS}

在栅源极之间加一定电压的情况下,栅源极之间的直流电阻称为直流输入电阻 R_{GS} 。

4) 输出电阻 R_D

当栅源电压 U_{GS} 为某一定值时,漏源电压的变化与其对应的漏极电流的变化之比称为输出电阻 R_D 。

5) 跨导 g_m

在一定的漏源电压下,漏源电流的变化量与引起这个变化的相应栅压的变化量的比值称为跨导 g_m 。

6) 栅源击穿电压 U_{GSS}

反向饱和电流急剧增加的栅源电压为栅源击穿电压 U_{GSS} 。从结构特点可知, MOS 管内部栅、源之间是一层很薄的 SiO_2 膜,因此栅、源之间的耐压不是很高,对于功率型 MOS 管,一般在 30V~50V 之间。每只管子的 U_{GSS} 具体是多少,在业余条件下是不能测量的。应注意的是,栅、源之间一旦击穿,将造成器件的永久性损坏。所以在使用中,加在栅、源间的电压不应超过 20V,一般电路中多控制在 10V 以下。为了保护栅、源间不被击穿,有的管子在内部已装有保护二极管。对于无内藏保护二极管的管子,使用时应如图 6-9 所示,在栅、源间并联一只限压保护二极管 V。二极管的稳压值可选在 10V 左右。

7) 漏源击穿电压 U_{DS}

一般规定,使 I_D 开始剧增的 U_{DS} 为漏源击穿电压 U_{DS} ,在使用 MOS 管时,漏、源间所加工作电压的峰值应小于 U_{DS} 。

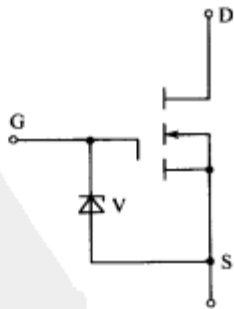


图 6-9 MOS 管加装保护二极管

三、绝缘栅场效应管的检测

下面以应用较多的功率型绝缘栅和双栅场效应管为例说明其检测的方法。

1. 功率型绝缘栅场效应管的检测

功率型场效应管又称为 VMOS 场效应管,它不仅具有输入阻抗高、驱动电流小的优点,而且还具有耐压高(最高耐压达 1200V)、工作电流大(1.5A~100A)、输入功率大(1W~250W)、跨导线性好、开关速度快等优点。近年来,在各种电子领域中得到了广泛的应用。

1) 判别管脚

判定栅极 G:将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,分别测量三个管脚之间的电阻,如果测得某管脚与其余两管脚间的电阻值均为无穷大,且对换表笔测量时阻值仍为无穷大,则证明此脚是栅极 G。因为从结构上看,栅极 G 与其余两脚是绝缘的。但要注意,此种测量法仅对管内无保护二极管的 VMOS 管适用。

判定源极 S 和漏极 D:由 VMOS 管结构可知,在源、漏极之间有一个 PN 结,因此根据 PN 结正、反向电阻存在差异的特点,可准确识别源极 S 和漏极 D。将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,先用一表笔将被测 VMOS 管三个电极短接一下,然后用交换表笔的方法测两次电阻,如果管子是好的,必然会测得阻值为一大一小。其中阻值较大的一次测量中,黑表笔所接的为漏极 D,红表笔所接的为源极 S,而阻值较小的一次测量中,红表笔所接的为漏极 D,黑表笔所接的为源极 S,这种规律还证明,被测管为 N 沟道管。如果被测管为 P 沟道管,则所测阻值的大小规律正好相反。

2) 好坏的判别

用万用表 $R \times 1k$ 挡去测量场效应管任意两引脚之间的正、反向电阻值。如果出现两次及两次以上电阻值较小(几乎为 $0 \times k\Omega$),则该场效应管损坏;如果仅出现一次电阻值较小(一般为数百欧),其余各次测量电阻值均为无穷大,还需作进一步判断(注意,以上测量方法适用于内部无保护二极管的 VMOS 管)。以 N 沟道管为例,可依次作下述测量,以判定管子是否良好。

(1)将万用表置于 $R \times 1k$ 挡。先将被测 VMOS 管的栅极 G 与源极 S 用镊子短接一下,然后将红表笔接漏极 D,黑表笔接源极 S,所测阻值应为数千欧。具体操作如图 6-10 所示。

(2)先用导线短接 G 与 S,将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,红表笔接 S,黑表笔接 D,阻值应接近无穷大,否则说明 VMOS 管内部 PN 结的反向特性比较差。具体操作如图 6-11 所示。

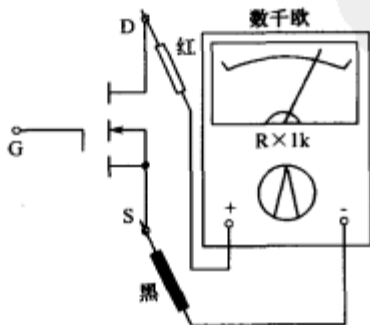


图 6-10 测 VMOS 的 R_{DS}

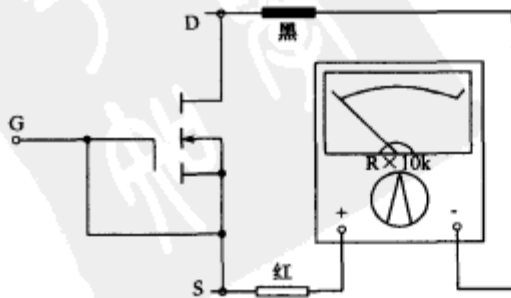


图 6-11 短接 VMOS 的 G、S 测 R_{DS}

(3)紧接上述测量,将 G 与 S 间短路线去掉,表笔位置不动,将 D 与 G 短接一下再脱开,相当于给栅极注入了电荷,此时阻值应大幅度减小并稳定在某一阻值。此阻值越小说明跨导值越高,管子的性能越好。如果万用表指针向右摆幅很小,说明管子的跨导值较小。具体测试操作如图 6-12 所示。

此步测试时需要注意的是,万用表的电阻挡一定要选用 $R \times 10k$ 的高阻挡,这时表内电压较高,阻值变化比较明显。如果使用 $R \times 1k$ 或 $R \times 100$ 挡,会因表内电压较低而不能进行正常测试。

(4)紧接上述操作,表笔不动,电阻值维持在某一数值,用镊子等导电物将 G 与 S 短接一下,给栅极放电,万用表指针应立即向左转至无穷大。具体操作如图 6-13 所示。

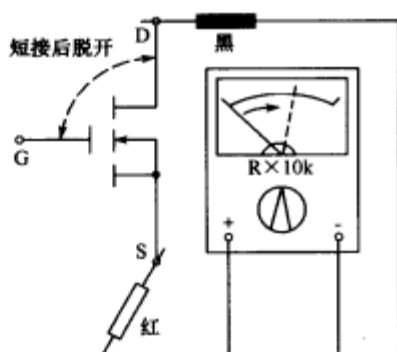


图 6-12 短接 VMOS 的 G、D 时测 R_{DS}

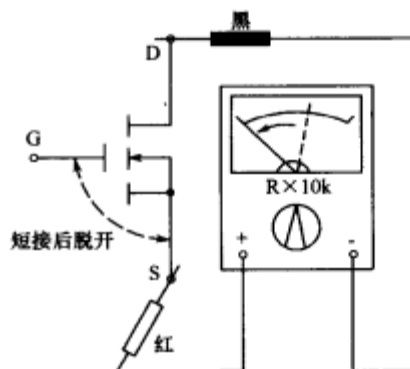


图 6-13 短接 VMOS 的 G、S 时的测试

上述测量方法是针对 N 沟道 VMOS 场效应管而言,若测量 P 沟道管,则应将两表笔位置调换。

为便于维修时需要,表 6-1 给出了常用绝缘栅场效应管的技术参数。

表 6-1 常用绝缘栅场效应管的技术参数

型号	漏-源间极限电压	漏极限电流	漏极耗散功率	导通、关断时间
K719	900	5	120	
K725	500	15	25	
K727	900	5	125	110/420
K774	500	18	120	
K785	500	20	150	
K787	900	8	150	95/240
K788	500	13	150	
K790	500	15	150	
K793	850	5	150	
K794	900	5	150	
K872	900	6	150	50/200
K955	800	5	125	110/420
K956	800	9	150	
K962	900	8	130	

(续)

型号	漏-源间极限电压	漏极极限电流	漏极耗散功率	导通、关断时间
K1044	800	5	150	80/270
K1045	900	5	150	80/270
K1117	600	6	100	
K1204	900	8	100	270/410
K1342	900	8	100	155/315
K1358	900	9	150	65/120
K1461	900	5	120	50/265
K1507	600	6	50	
K1537	900	5	100	65/145
K1649	900	6	150	60/320
K1794	900	6	100	50/105
K2141	600	6	35	
K2651	900	6	125	
K2645	600	9	50	
K2847	600	8	85	
IRFBC40	600	6.2	125	27/30
MTH14N50	500	14	150	
MTH20N20	200	20	120	
MTH25N20	200	25	150	
MTH30N10	100	30	120	
MTH35N15	150	35	150	
MTH40N10	100	40	150	
MTM6N80	800	6	120	
MTM6N90	900	6	150	
MTM8N50	500	8	100	
MTH8N60	600	8	150	
MTM8N90	900	8	150	
MTM10N20	200	10	75	
MTM20N20	200	20	125	
MTM25N10	100	25	100	
MTM25N20	200	25	150	
MTM30N10	100	30	120	
MTM40N10	100	40	150	
MTP3N60	600	3	75	
MTP3N100	1000	3	75	
MTP6N60	600	6	50	

(续)

型号	漏-源间极限电压	漏极极限电流	漏极耗散功率	导通、关断时间
MTP6N80	600	6	75	
MTP7NA60	900	5	125	
MTP8P20E	900	5	125	
IRF350	500	13	150	
IRF360	400	25	300	
IRF440	500	8	125	
IRF450	500	13	150	
IRF451	450	13	150	
IRF460	500	21	300	
IRF620	200	5	40	
IRF630	200	9	75	
IRF740	400	10	125	
IRF820	500	2.5	50	
IRF834	500	5	100	
IRF840	500	8	125	
IRF841	450	8	125	
IRF842	500	7	125	
IRFPF40	900	4.7	150	
FS7M16	800	7	150	
FS10SM12	800	10	200	

重点提示： 有些功率场效应管内部在漏源极之间并接了一个二极管或肖特基二极管，如图 6-14 所示。这是为了在接电感负载时防止反电动势损坏 MOSFET。

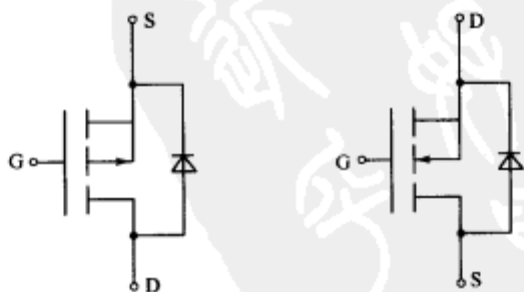


图 6-14 接有二极管的功率场效应管

2. 双栅绝缘栅场效应管的检测

双栅绝缘栅场效应管的结构及外形如图 6-15 所示。

这种场效应管有两个串联的沟道，两个栅极都能控制沟道电流的大小，靠近源极 S 的栅极 G_1 是信号栅，靠近漏极 D 的栅极 G_2 是控制栅，通常加 AGC 电压，这种场效应管在彩电高频头的高放电路中应用较多。

1) 判别管脚电极

目前,日本及欧洲各国生产的 MOS 场效应管的管脚位置排列顺序基本是相同的,即从管子的底部看去,按逆时针方向依次是 D、S、 G_1 、 G_2 。如图 6-16 所示。所以,只要用万用表电阻挡测出漏极 D 和源极 S 两脚,就可以将各管脚确定。

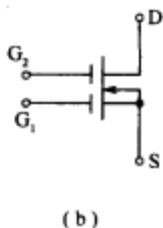
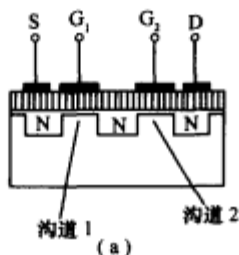


图 6-15 双栅绝缘栅场效应管的结构及外形
(a) 结构; (b) 电路符号。

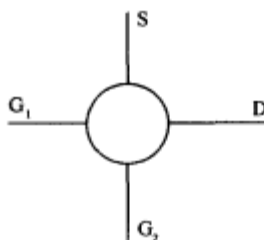


图 6-16 双栅绝缘栅场效应管管脚排列

检测时将万用表置 $R \times 100$ 挡,用红、黑表笔依次轮换测量各管脚间的电阻值,只有 S 和 D 两极间的电阻值为几十欧至几千欧之间,其余各电极间的电阻值均为无穷大。这样找到 S 和 D 极以后,再交换表笔测量这两个电极间的电阻值,其中在测得阻值较大的一次测量中,黑表笔所接的为 D 极,红表笔所接的为 S 极。知道 D 和 S 以后, G_1 和 G_2 便可根据排列规律加以确定。

2) 检测好坏

(1) 测量源极 S 和漏极 D 间电阻:将万用表置于 $R \times 10$ 或 $R \times 100$ 挡,测量源极 S 和漏极 D 之间的电阻值,正常时,一般在几十欧到几千欧之间,不同型号的管子略有差异。当用黑表笔接 D,红表笔接 S 时,电阻值要比红表笔接 D,黑表笔接 S 时所测得的电阻值大些。这两个电极之间的电阻值若大于正常值或为无穷大,说明管子存在内部接触不良或内部断极。若接近于零,则说明内部已被击穿。

(2) 测量其余各管脚间的电阻:将万用表置 $R \times 10k$ 挡,表笔不分正负,测量栅极 G_1 和 G_2 之间、栅极与源极之间、栅极与漏极之间的电阻值。正常时,这些电阻值均应为无穷大。若阻值不是无穷大,则证明管子已经损坏。注意,这种方法对于内部电极开路性故障是无法判断的。

四、绝缘栅场效应管使用注意事项

MOS 管的输入阻抗很高,所以,即使是极小的电流,甚至是静电,都会产生很高的电压,导致管子烧穿。所以,使用时要注意以下几点:

(1) MOS 器件出厂时通常装在黑色的导电泡沫塑料袋中,切勿自行随便拿个塑料袋装。也可用细铜线把各个管脚连接在一起,或用锡纸包装。

(2) 取出的 MOS 器件不能在塑料板上滑动,应用金属盘来盛放待用器件。

(3) 焊接用的电烙铁必须良好接地。

(4) 在焊接前应把电路板的电源线与地线短接,待 MOS 器件焊接完成后再次分开。

(5) MOS 器件各管脚的焊接顺序是漏极、源极、栅极。拆机时顺序相反。

(6) 在允许条件下,MOS 场效应管的栅极最好接入保护二极管。在检修电路时应注意查证原有的保护二极管是否损坏。

(7)最好带防静电手套或穿上防静电的衣服再去接触场效应管。

(8)选管时,要注意实际电路中各极电流电压的数值都不能超过手册中规定的额定值。

第三节 场效应管的应用

场效应管的应用很广,可以用于调制、放大、阻抗变换、稳流、限流和自动保护等电路中,下面以结型场效应管为例,简要介绍几种常用的应用电路。

一、直流小信号调制电路

在仪表中经常遇到直流信号放大的问题,一般采用大闭环负反馈和将直流信号调制成交流信号再进行交流放大的方法,如图 6-17 所示,这种方法可以克服温度漂移和提高线性精度,并能获得高放大倍数。图 6-18 是具体电路。

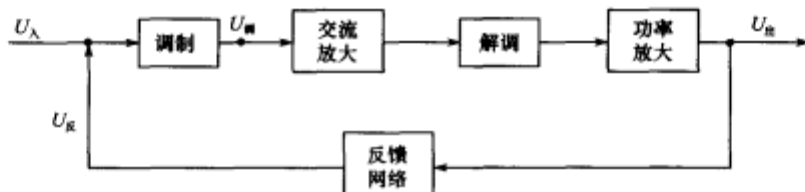


图 6-17 直流小信号调制方框图

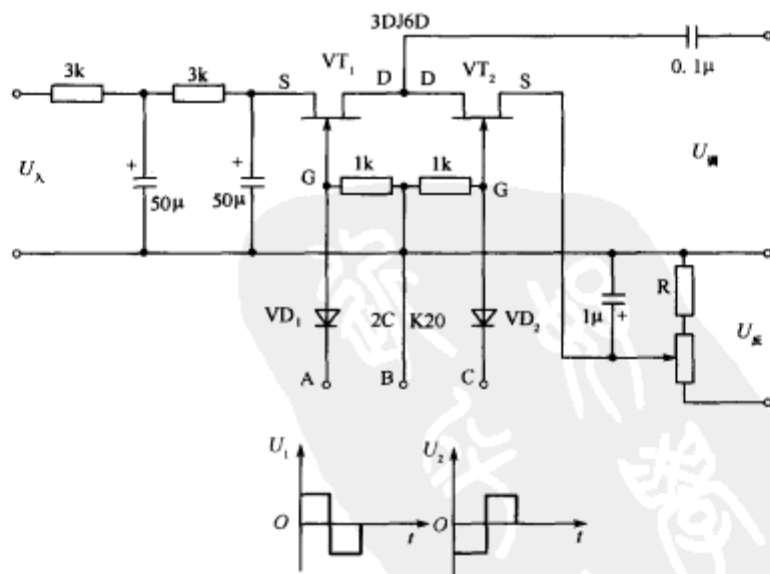


图 6-18 直流小信号调制电路

图 6-18 中, VT_1 、 VT_2 工作在可变电阻区, D_1 、 D_2 是防止栅压为正,这样可以消除调制噪声。3kΩ 电阻和 50μF 电容为输入滤波用。

用频率为 1000Hz、幅值为 7V 的方波电压 U_1 、 U_2 作为驱动电压,此两电压形状相同,相位相反,经 VD_1 、 VD_2 削去正半波后分别加在 VT_1 、 VT_2 的栅极,使 VT_1 、 VT_2 轮流

导通、夹断,就好像并串联的单刀双掷开关一样。 VT_1 导通时 VT_2 夹断,输入电压 U_A 向 $0.1\mu\text{F}$ 电容充电; VT_2 导通时 VT_1 夹断, $0.1\mu\text{F}$ 电容通过 VT_2 向 R 放电,而 R 上有反馈电压 $U_{\text{反}}$,正好与放电电流方向相反,故达到 U_A 与 $U_{\text{反}}$ 相减的目的。可以看出,经 $0.1\mu\text{F}$ 电容输出的调制电压 $U_{\text{调}}$ 为频率与 U_1 、 U_2 频率相同的交变电压。

这种调制电路比绝缘栅场效应管调制电路焊接调整方便,工作可靠,比晶体管调制电路噪声小、漂移小、调整简单。注意 R 值不可太大,一般应在 $100\text{k}\Omega$ 以内。

二、代替限流电阻

一般用稳压管稳压的电路如图 6-19(a)所示, R 为限流电阻,现用一只结型场效应管代替,如图(b)所示。它是零栅压工作,由场效应管的输出特性曲线可知,当 U_{DS} 下降时, I_{DS} 变化并不多,因此,仍能保证稳压管的工作电流不变,所以稳压精度提高,另外,采用场效应管后,它允许电源变动的范围也比采用限流电阻的稳压电路大得多。

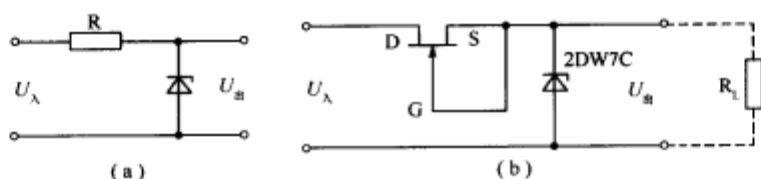


图 6-19 代替限流电阻

(a)稳压管稳压电路;(b)场效应管替代限流电阻电路。

三、限流器

在图 6-19 所示的稳压电路中,结型场效应管工作在饱和区,而用于限流器时则有所不同,具体电路如图 6-20 所示。结型场效应管是工作在负栅压情况下,栅源电压值为 $-I_A R$ 。当 I_A 小时它工作在可变电阻区,漏源电阻 R_{DS} 较小,不影响电流输出;当 I_A 增大到一定数值时,它工作在饱和区,这时 I_A 增加很少, U_{DS} 就要增大很多, R_{DS} 就好像一个阻值很大的可调电阻,对 I_A 起了限流作用。

管型及参数选择应结合具体情况而定,如 I_A 为 $0\text{mA} \sim 15\text{mA}$ (直流), R_L 为 $0\text{k}\Omega \sim 3\text{k}\Omega$,要求限流在 12mA 左右,则可选用 3DJ7J (加散热片), R 在 240Ω 左右。调整 R 值可改变限流数值。

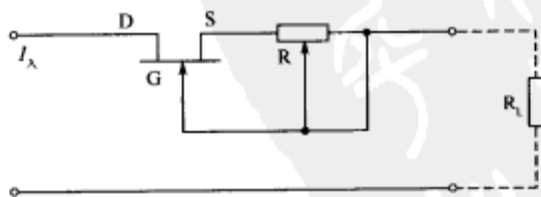


图 6-20 限流器电路

第七章 晶闸管(可控硅)的识别与检测

晶闸管也叫可控硅(SCR),是一种“以小控大”的功率(电流)型器件,它像闸门一样,能够控制大电流的流通,晶闸管由此得名。晶闸管具有体积小、重量轻、功耗低、效率高、寿命长及使用方便等优点,因而应用领域十分广泛,在家用电器、电子测量仪器和工业自动化设备中都能见到它们。现在电子制作电路,如交流无触点开关、调光、调速、调压、控温、控湿及稳压等也采用了晶闸管。本章以常用的单向、双向、可关断等晶闸管为例,分析其识别和检测方法。

第一节 晶闸管概述

晶闸管是晶体闸流管的简称,俗称可控硅,它是一种大功率开关型半导体器件,在电路中一般用文字符号 VS 表示(旧标准中用字母“SCR”表示)。晶闸管具有硅整流器件的特性,能在高电压、大电流条件下工作,且其工作过程可以控制,被广泛应用于可控整流、交流调压、无触点电子开关、逆变及变频等电子电路中。

一、晶闸管的种类

晶闸管一般按以下方法进行分类。

1. 按控制方式分

晶闸管按其控制方式可分为普通晶闸管、双向晶闸管、逆导晶闸管、可关断晶闸管(GTO)、BTG 晶闸管、温控晶闸管和光控晶闸管等多种。

2. 按封装形式分类

晶闸管按其封装形式可分为金属封装晶闸管、塑封晶闸管和陶瓷封装晶闸管三种类型。其中,金属封装晶闸管又分为螺栓形、平板形、圆壳形等多种;塑封晶闸管又分为带散热片型和不带散热片型两种。

3. 按电流容量分类

晶闸管按电流容量可分为大功率晶闸管、中功率晶闸管和小功率晶闸管三种。通常,大功率晶闸管多采用金属壳封装,而中、小功率晶闸管则多采用塑封或陶瓷封装。

4. 按关断速度分类

晶闸管按其关断速度可分为普通晶闸管和高频(快速)晶闸管。

图 7-1 是晶闸管的分类图。

二、晶闸管的外形和命名

晶闸管的常见外形如图 7-2 所示。

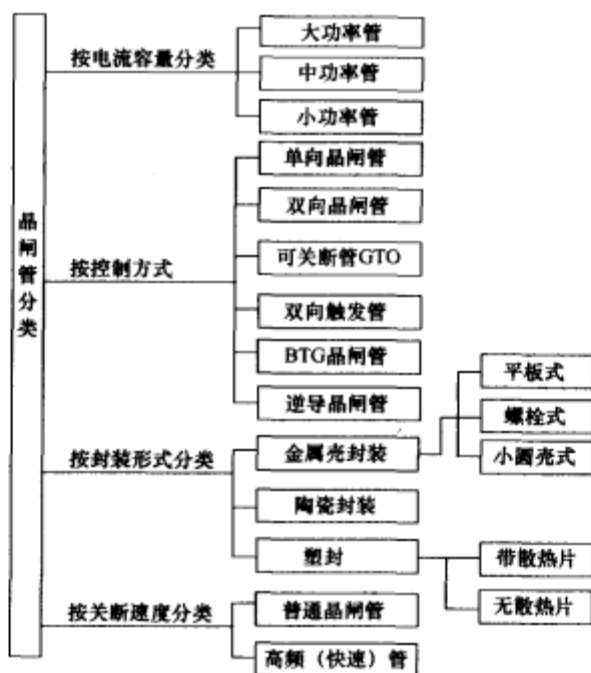


图 7-1 晶闸管的分类情况

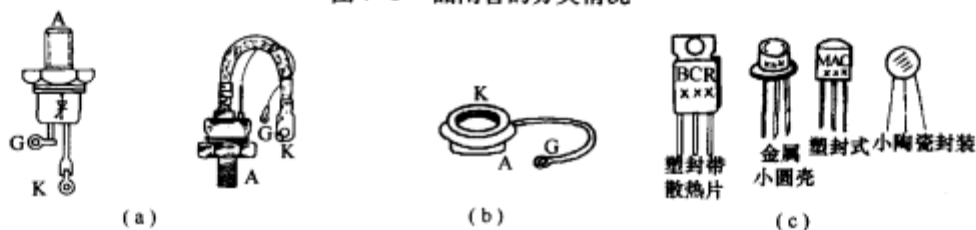


图 7-2 晶闸管的常见外形

(a)螺栓式；(b)平板式；(c)其他形式。

国产晶闸管的型号命名主要由四部分组成，各部分的含义见表 7-1。

表 7-1 国产晶闸管的型号命名及含义

第一部分：主称		第二部分：类别		第三部分：额定通态电流		第四部分：重复峰值电压级数	
字母	含义	字母	含义	数字	含义	数字	含义
K	晶闸管 (可控硅)	P	普通反向阻断型	1	1A	1	100V
				5	5A	2	200V
				10	10A	3	300V
				20	20A	4	400V
				30	30A	5	500V
				50	50A	6	600V
				100	100A	7	700V
				200	200A	8	800V
		K	快速反向阻断型	300	300A	9	900V
				400	400A	10	1000V
		S	双向型	500	500A	12	1200V
						14	1400V

第一部分用字母“K”表示主称为晶闸管。第二部分用字母表示晶闸管的类别。第三部分用数字表示晶闸管的额定通态电流值。第四部分用数字表示重复峰值电压级数。

例如:KP1-2(1A 200V 普通反向阻断型晶闸管)

K——晶闸管

P——普通反向阻断型

1——通态电流 1A

2——重复峰值电压 200V

再如:KS5-4(5A 400V 双向晶闸管)

K——晶闸管

S——双向管

5——通态电流 5A

4——重复峰值电压 400V

国外晶闸管型号很多,大都按各公司自己的命名方式定型号,如单向晶闸管有 SFOR1、CR2AM、SF5 等,双向晶闸管有 BTA06、BCR6AM、MAC97A6。

三、晶闸管的主要参数

晶闸管的主要电参数有正向转折电压 V_{BO} 、正向平均漏电流 I_{FL} 、反向漏电流 I_{RL} 、断态重复峰值电压 V_{DRM} 、反向重复峰值电压 V_{RRM} 、正向平均压降 V_F 、通态平均电流 I_T 、门极触发电压 V_G 、门极触发电流 I_G 、门极反向电压和维持电流 I_H 等。

1. 正向转折电压 V_{BO}

晶闸管的正向转折电压 V_{BO} 是指在额定结温且门极(G)开路的条件下,在其阳极(A)与阴极(K)之间加正弦半波正向电压,使其由关断状态转变为导通状态时所对应的峰值电压。

2. 断态重复峰值电压 V_{DRM}

断态重复峰值电压 V_{DRM} ,是指晶闸管在正向阻断时,允许加在 A、K(或 T_1 、 T_2)极间最大的峰值电压。此电压约为正向转折电压减去 100V 后的电压值。

3. 通态平均电流 I_T

通态平均电流 I_T ,是指在规定环境温度和标准散热条件下,晶闸管正常工作时 A、K(或 T_1 、 T_2)极间所允许通过电流的平均值。

4. 反向击穿电压 V_{BR}

反向击穿电压是指在额定结温下,晶闸管阳极 A 与阴极 K 之间施加正弦半波反向电压,当其反向漏电流急剧增加时对应的峰值电压。

5. 反向重复峰值电压 V_{RRM}

反向重复峰值电压 V_{RRM} ,是指晶闸管在门极 G 断路时,允许加在 A、K 极间的最大反向峰值电压。此电压约为反向击穿电压减去 100V 后的峰值电压。

6. 正向平均电压降 V_F

正向平均电压降 V_F 也称通态平均电压或通态压降 V_T ,是指在规定环境温度和标准散热条件下,当通过晶闸管的电流为额定电流时,其阳极 A 与阴极 K 之间电压降的平均值,通常为 0.4V~1.2V。

7. 门极触发电压 V_{GT}

门极触发电压 V_{GT} ,是指在规定的环境温度和晶闸管阳极 A 与阴极 K 之间为一定值正向电压的条件下,使晶闸管从阻断状态转变为导通状态所需要的最小门极直流电压,一般为 1.5V 左右。

8. 门极触发电流 I_{GT}

门极触发电流 I_{GT} ,是指在规定环境温度和晶闸管阳极 A 与阴极 K 之间为一定值电压的条件下,使晶闸管从阻断状态转变为导通状态所需要的最小门极直流电流。

9. 门极反向电压

门极反向电压是指晶闸管门极上所加的额定电压,一般不超过 10V。

10. 维持电流 I_H

维持电流 I_H 是指维持晶闸管导通的最小电流。当正向电流小于 I_H 时,导通的晶闸管会自动关断。

11. 断态重复峰值电流 I_{DR}

断态重复峰值电流 I_{DR} ,是指晶闸管在断态下的正向最大平均漏电流值,一般小于 $100\mu A$ 。

12. 反向重复峰值电流 I_{RRM}

反向重复峰值电流 I_{RRM} ,是指晶闸管在关断状态下的反向最大漏电流值,一般小于 $100\mu A$ 。

四、晶闸管的选用

1. 选择晶闸管的类型

晶闸管有多种类型,应根据应用电路的具体要求合理选用。

若用于交直流电压控制、可控整流、交流调压、逆变电源、开关电源保护电路等,可选用普通单向晶闸管。

若用于交流开关、交流调压、交流电动机线性调速、灯具线性调光及固态继电器、固态接触器等电路中,应选用双向晶闸管。

若用于交流电动机变频调速、斩波器、逆变电源及各种电子开关电路等,可选用门极关断晶闸管。

若用于锯齿波发生器、长时间延时器、过电压保护器及大功率晶体管触发电路等,可选用 BTG 晶闸管。

若用于电磁灶、电子镇流器、超声波电路、超导磁能储存系统及开关电源等电路,可选用逆导晶闸管。

若用于光电耦合器、光探测器、光报警器、光计数器、光电逻辑电路及自动生产线的运行监控电路,可选用光控晶闸管。

2. 选择晶闸管的主要参数

晶闸管的主要参数应根据应用电路的具体要求而定。

所选晶闸管应留有一定的功率余量,其额定峰值电压和额定电流(通态平均电流)均应高于受控电路的最大工作电压和最大工作电流 1.5 倍~2 倍。

晶闸管的正向压降、门极触发电流及触发电压等参数应符合应用电路(指门极的控制电路)的各项要求,不能偏高或偏低,否则会影响晶闸管的正常工作。

第二节 单向晶闸管的识别与检测

一、单向晶闸管的特性

单向晶闸管简称 SCR,也叫单向可控硅。是一种三端器件,共有三个电极,控制极(门极)G、阳极 A 和阴极 K。单向晶闸管种类很多,按功率大小来区分,有小功率、中功率和大功率三种规格,一般从外观上即可进行识别。小功率晶闸管多采用塑封或金属壳封装;中功率晶闸管的控制极管脚比阴极细,阳极带有螺栓;大功率晶闸管的控制极上带有金属编织套。常见单向晶闸管外形如图 7-3 所示。

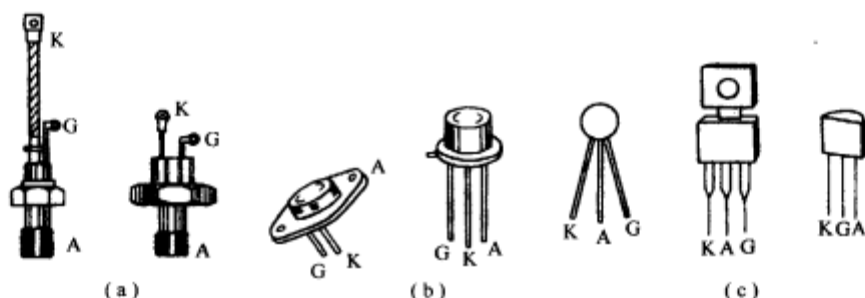


图 7-3 常见单向晶闸管外形

(a)螺栓形;(b)金属壳封装;(c)塑封。

目前,单向晶闸管已经被广泛用于可控整流、交流调压、逆变电源以及开关电源等电路。

图 7-4 是单向晶闸管的结构、等效电路和电路符号。

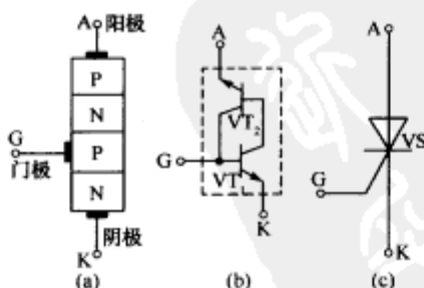


图 7-4 单向晶闸管的结构、等效电路和电路符号

(a)结构;(b)等效电路;(c)电路符号。

由结构图可见,单向晶闸管由 PNP 四层半导体构成。它的特性是,当阳极 A 和阴极 K 之间加上正极性电压时,A、K 还不能导通。只有当控制极 G 再加上一个正向触发信号时,A、K 之间才能进入深饱和导通状态。而 A、K 两电极一旦导通后,即使去掉 G 极上的正向触发信号,A、K 之间仍保持通态,只有使 A、K 之间的正向电压足够小或在两者间施以反向电压时,才能使其恢复截止状态。

晶闸管的以上特性可从其等效电路中得到解释：当晶闸管的阳极 A、阴极 K 极间加上正电压后，等效三极管 VT_1 、 VT_2 便具备了电流放大条件。此时若在它的控制极 G 上加正向电压 U_G ，由于正反馈的作用，使 VT_1 、 VT_2 进入饱和，晶闸管阳极 A、阴极 K 间流过较大的电流，管压降接近零，电源电压几乎全部降落在负载上。晶闸管导通后，由于 VT_1 的基极上始终有比最初的控制极电流大很多的电流流过，可以推知，此时即使去掉控制极电压 U_G ，晶闸管仍然维持其导通状态。

晶闸管在下述三种情况下不导通：一是阳极 A、阴极 K 间加负电压（阳负、阴正），此时等效的两只三极管均因反向偏置而不导通；二是阳极 A、阴极 K 间加正电压，但没有最初的控制极触发电压 U_G ，晶闸管因得不到最初的触发电流，不能形成正反馈放大过程，所以不导通；三是阳极 A、阴极 K 间导通电流小于其维持电流，即不能维持其内部等效三极管的饱和状态，因而晶闸管也不导通。

一个性能良好的晶闸管，截止时其漏电流应很小，触发导通后其压降也应很小。这是对晶闸管进行性能检测的主要依据。

二、单向晶闸管的应用

单向晶闸管具有控制性能好、反应快，体积小、效率高等优点，常用于整流、无触点开关及变频电路中。单向晶闸管用于音乐控制的彩灯电路，如图 7-5 所示，扬声器两端的信号电压，通过变压器去触发晶闸管。当音乐有强有弱时，触发电流就有大有小，从而控制彩灯忽亮忽暗闪烁。

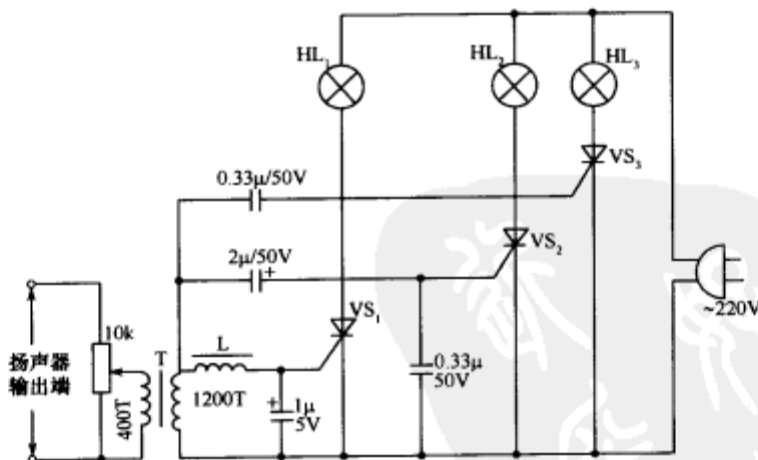


图 7-5 单向晶闸管应用电路

三、单向晶闸管的检测

1. 判别各电极的好坏

由单向晶闸管的结构可知，控制极 G 和阴极 K 之间是一个 PN 结，由 PN 结的单向导电特性可知，其正反电阻值相差很大。而控制极 G 和阳极 A 之间有两个反向串联的 PN 结，因此无论 A、G 两个电极的电位谁高谁低，两极间总是呈高阻值。所以用万用表可以很方便地测出其电极引脚。

将万用表打在 $R \times 100$ 挡上,分别测量晶闸管任意两引出脚间的电阻值。随两表笔的调换共进行六次测量,其中五次万用表的读数应为无穷大,一次读数为几十欧姆。读数为几十欧姆的那一次,黑表笔接的是控制极 G,红表笔接的是阴极 K,剩下的管脚便为阳极 A。若在测量中不符合以上规律,说明晶闸管损坏或不良。

重点提示:单向晶闸管也可以根据其封装形式来判断出各电极。例如:螺栓形晶闸管的螺栓一端为阳极 A,较细的引线端为门极 G,较粗的引线端为阴极 K。平板形晶闸管的引出线端为门极 G,平面端为阳极 A,另一端为阴极 K。金属壳封装(TO-3)的晶闸管,其外壳为阳极 A。塑封(TO-220)的晶闸管的中间管脚为阳极 A,且多与自带散热片相连。

2. 导通特性的测试

1) 10A 以下晶闸管导通特性的测试

万用表置 $R \times 1$ 挡,将黑表笔接阳极 A,红表笔接阴极 K,此时万用表指针不偏转。再将控制极 G 和阳极 A 瞬间短接,万用表的读数随即降到几十欧,说明晶闸管能被触发并维持导通,它的基本性能是好的,否则不能用。

2) 10A~100A 晶闸管导通特性的测试

对于 10A~100A 大功率晶闸管,因其通态压降较大,并且 $R \times 1$ 挡提供的电流低于维持电流,故晶闸管不能完全导通。为此可改用双表法,即把两块万用表的 $R \times 1$ 挡串联起来使用(将第一块万用表的黑表笔与第二块万用表的红表笔短接),获得 3V 的电源电压。也可在万用表 $R \times 1$ 挡的外部串联 1~2 节 1.5V 电池,将电源电压提升到 3V~4.5V,以便检查 10A~100A 的大功率晶闸管。

四、单向晶闸管的代换

晶闸管的参数很多,但电路设计时一般都留有较大的余量,所以更换晶闸管时只要几个主要参数相近就可以了。这些主要参数有:额定电流、额定电压、触发电流、触发电压等。额定电流与额定电压这两个参数最重要。最简单的方法是从实物或电路标注上查出晶闸管的型号和参数。如一单向晶闸管的外壳上印有“KP5”字样,表示它是 KP 型普通晶闸管,额定电流是 5A。同样是 KP5 型的晶闸管,外形相同,而额定电压的范围可以从最低的 100V 到最高的 3000V,这时究竟应该选哪一种呢?从安全方面考虑,当然选用额定电压高的晶闸管好。但是额定电压值越高,晶闸管的价格也较高,造成浪费。在这种情况下,我们就应该通过对电路进行估算来确定它们的额定电压值。为保证晶闸管的安全,它的额定电压参数一般要取最高工作电压的 1.5 倍~2 倍。

非标准型号晶闸管损坏,或者没有相同型号的晶闸管备用时,就要设法来找参数相近的晶闸管代用。代用时一般要注意以下几点:

(1)管子的外形要相同。因为外形不同,就无法安装。

(2)管子的开关速度要基本一致。如 KK 型快速晶闸管就不能用 KP 型或 3CT 型普通晶闸管代用,KP 型晶闸管则可以用 3CT 型普通管代用。

(3)选取代用管时,不管什么参数,都不必留有较大的余量,因为过大的余量不仅是一种浪费,有时反而起不好的作用。例如,选用额定电流是 30A 的晶闸管来代换 20A 的,虽然安全,但是 20A 晶闸管只需较小的电流就能触发导通,而 30A 的晶闸管则需要较大的

电流才能触发导通。因此,当把这个 30A 晶闸管更换到电路上去,可能会出现不触发或触发不灵敏的现象。

第三节 双向晶闸管的识别与检测

一、双向晶闸管的特性

单向晶闸管实质上属于直流控制器件,要控制交流负载,必须将两只晶闸管反极性并联,让每只晶闸管控制一个半波,为此需用两套独立的触发电路,使用不够方便。双向晶闸管是在普通晶闸管的基础上发展而成的,它不仅能代替两只反极性并联的单向晶闸管,而且仅需一个触发电路,是目前比较理想的交流开关器件。其英文名称 TRIAC 即三端双向交流开关之意。

尽管从形式上可将双向晶闸管看成两只普通晶闸管的组合,但实际上它是由 7 只晶体管和万只电阻构成的功率集成器件。常见双向晶闸管外形如图 7-6 所示。

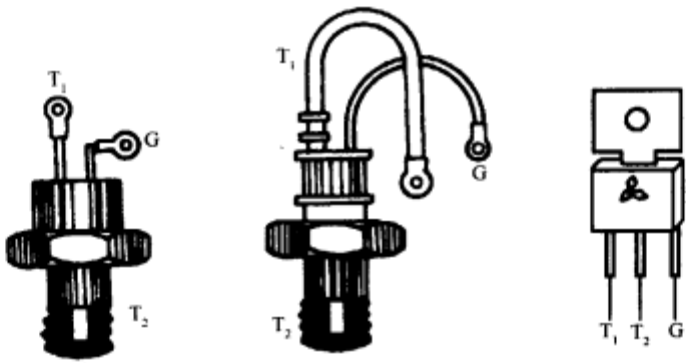


图 7-6 常见双向晶闸管外形

双向晶闸管的结构与电路符号如图 7-7 所示。

双向晶闸管的 3 个电极分别是 T_1 、 T_2 、 G 。与单向晶闸管相比,主要是能双向导通,且具有 4 种触发状态。如图 7-8 所示。

当 G 极和 T_2 相对于 T_1 的电压为正时,导通方向为 $T_2 \rightarrow T_1$,此时 T_2 为阳极, T_1 为阴极。

当 G 极和 T_1 相对于 T_2 的电压为负时,导通方向也为 $T_2 \rightarrow T_1$, T_2 为阳极, T_1 为阴极。当 G 极和 T_1 相对于 T_2 为正时,导通方向为 $T_1 \rightarrow T_2$,此时 T_1 变为阳极, T_2 变为阴极。

当 G 极和 T_2 相对于 T_1 为负时,则导通方向仍为 $T_1 \rightarrow T_2$, T_1 为阳极, T_2 为阴极。

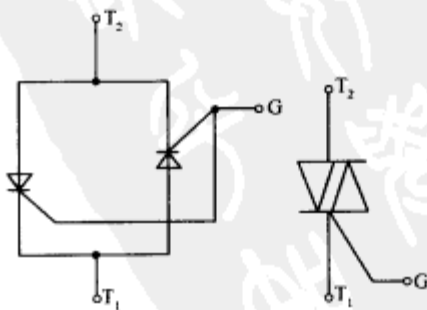


图 7-7 双向晶闸管的结构与电路符号

另外,双向晶闸管也具有去掉触发电压后仍能导通的特性,只有当 T_1 、 T_2 间的电压降低到不足以维持导通或 T_1 、 T_2 间的电压改变极性时又恰逢没有触发电压,晶闸管才被阻断。

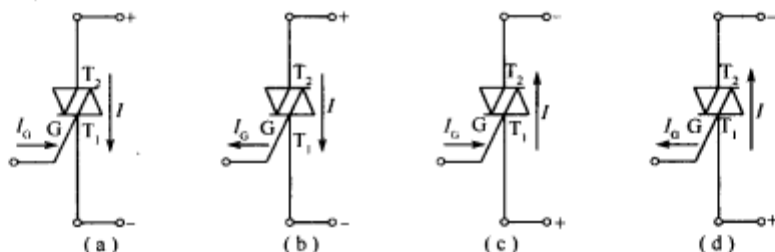


图 7-8 双向晶闸管的 4 种导通状态

二、双向晶闸管的应用

双向晶闸管可用于工业、交通、家用电器等领域,实现交流调压、电机调速、交流开关、路灯自动开启与关闭、温度控制、台灯调光等多种功能。它还被用于固态继电器和固态接触器电路中。

图 7-9 是由双向晶闸管构成的接近开关电路。 R 为门极限流电阻, JAG 为干式舌簧管。平时 JAG 断开,双向晶闸管 TRIAC 也关断。仅当小磁铁移近时, JAG 吸合,使双向晶闸管导通,将负载电源接通。由于通过干簧管的电流很小,时间仅几微秒,所以开关的寿命很长。

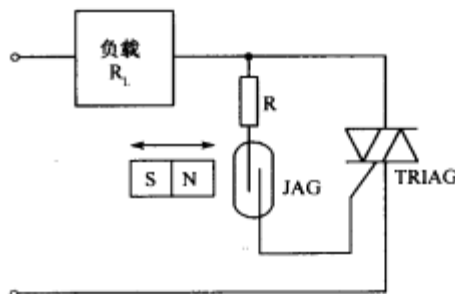


图 7-9 接近开关

三、双向晶闸管的检测

1. 判别各电极

由双向晶闸管的结构可知, G 极与 T_1 极靠近,距 T_2 极较远。因此, G 与 T_1 之间的正反向电阻都很小。因此,在用万用表的 $R \times 1$ 挡测量晶闸管任意两引出脚间的电阻值时,正常时有一组为几十欧,另两组为无穷大。阻值为几十欧时表笔所接的两管脚为 T_1 和 G ,剩余的引出脚是 T_2 极。

判别出 T_2 后,可以进一步区分 T_1 和 G 。假定 T_1 和 G 两电极中的任意一脚为 T_1 ,用黑表笔接 T_1 ,红表笔接 T_2 ,将 T_2 与假定的 G 极瞬间短路,如果万用表的读数由无穷大变为几十欧,说明晶闸管能被触发并维持导通。调换两表笔重复上面操作,结果相同时,说明假定正确。如果调换表笔操作时,万用表瞬间指示为几十欧又指示为无穷大,说明晶闸管没有维持导通,说明原来的假定是错误的,原假定的 T_1 极实际上是 G 极,假定的 G 极实际上是 T_1 极。

当测功率稍大的双向晶闸管时,若 $R \times 1$ 挡不能触发导通时,可在黑表笔接线中串接一节干电池,干电池应和表内电池的极性顺向串联,再按上述方法测试,就能触发导通。

重点提示:螺栓形双向晶闸管的螺栓一端为主电极 T_2 ,较细的引线端为门极 G ,较粗的引线端为主电极 T_1 。金属封装(TO-3)双向晶闸管的外壳为主电极 T_2 。塑封(TO-220)双向晶闸管的中间引脚为主电极 T_2 ,该极通常与自带小散热片相连。

2. 检测触发能力

对于工作电流为 8A 以下的小功率双向晶闸管,可用万用表 $R \times 1$ 挡直接测量。测量时先将黑表笔接主电极 T_2 ,红表笔接主电极 T_1 ,然后用镊子将 T_2 极与门极 G 短路,给 G 极加上正极性触发信号,若此时测得的电阻值由无穷大变为十几欧,则说明该晶闸管已被触发导通,导通方向为 $T_2 \rightarrow T_1$ 。

再将黑表笔接主电极 T_1 ,红表笔接主电极 T_2 ,用镊子将 T_2 极与门极 G 之间短路,给 G 极加上负极性触发信号时,测得的电阻值应由无穷大变为十几欧,则说明该晶闸管已被触发导通,导通方向为 $T_1 \rightarrow T_2$ 。

若在晶闸管被触发导通后断开 G 极, T_2 、 T_1 极间不能维持低阻导通状态而阻值变为无穷大,则说明该双向晶闸管性能不良或已经损坏。若给 G 极加上正(或负)极性触发信号后,晶闸管仍不导通(T_1 与 T_2 间的正、反向电阻值仍为无穷大),则说明该晶闸管已损坏,无触发导通能力。

对于工作电流 8A 以上的中、大功率双向晶闸管,在测量其触发能力时,可先在万用表的某支表笔上串接 1 节~3 节 1.5V 干电池,然后再用 $R \times 1$ 挡按上述方法测量。

对于耐压为 400V 以上的双向晶闸管,也可以用 220V 交流电压来测试其触发能力及性能好坏。图 7-10 是双向晶闸管的测试电路。电路中,EL 为 60W/220V 白炽灯泡,VS 为被测双向晶闸管,R 为 100 Ω 限流电阻,S 为按钮。

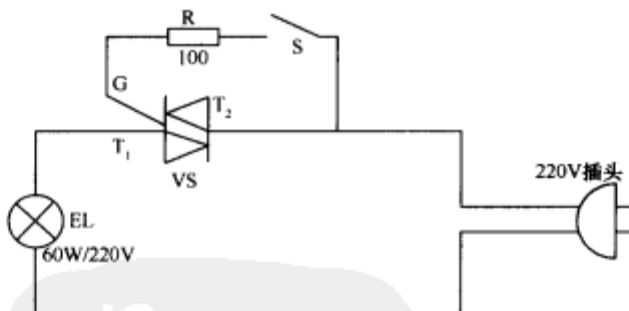


图 7-10 测试耐压 400V 以上的双向晶闸管

将电源插头接入市电后,双向晶闸管处于截止状态,灯泡不亮(若此时灯泡正常发光,则说明被测晶闸管的 T_1 、 T_2 极之间已击穿短路;若灯泡微亮,则说明被测晶闸管漏电损坏)。按动一下按钮 S,为晶闸管的门极 G 提供触发电压信号,正常时晶闸管应立即被触发导通,灯泡正常发光。若灯泡不能发光,则说明被测晶闸管内部开路损坏。若按动按钮 S 时灯泡点亮,松手后灯泡又熄灭,则表明被测晶闸管的触发性能不良。

第四节 可关断晶闸管的识别与检测

一、可关断晶闸管的特性

可关断晶闸管(GTO)亦称门控晶闸管。主要特点是,当门极加负向触发信号时能自行关断。

我们知道,普通晶闸管靠门极正信号触发之后,撤掉信号亦能维持通态。因此欲使之

关断,必须切断电源,使正向电流低于维持电流,或施以反向电压强迫关断。这就需要增加换向电路,不仅使设备的体积和重量增大,而且会降低效率,产生波形失真和噪声。可关断晶闸管克服了上述缺陷,它既保留了普通晶闸管耐压高、电流大等优点,又具有自关断能力,使用方便,是理想的高压、大电流开关器件。

可关断晶闸管也属于 PNP 四层三端器件,其结构及等效电路与普通晶闸管相同。图 7-11 是小功率可关断晶闸管的外形及符号,大功率可关断晶闸管多采用圆盘状或模块形式。它的三个电极分别为阳极 A、阴极 K、门极(亦称控制极)G。

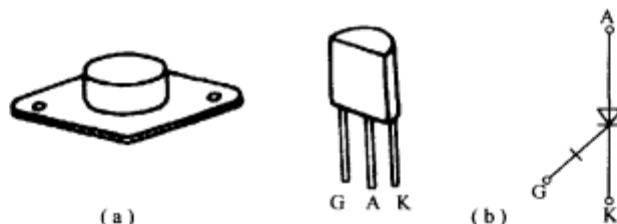


图 7-11 小功率可关断晶闸管的外形及符号

尽管它与普通晶闸管的触发导通原理相同,但两者的关断原理及关断方式截然不同。这是由于普通晶闸管在导通之后即处于深度饱和状态,而可关断晶闸管导通后只能达到临界饱和,所以给门极加上负向触发信号即可关断。

可关断晶闸管有一个重要参数就是关断增益 β_{off} ,它等于阳极最大可关断电流 I_{ATM} 与门极最大负向电流 I_{GM} 之比,一般为几倍至几十倍,此值愈大,说明门极电流对阳极电流的控制能力愈强。很显然, β_{off} 与晶体管电流放大系数 h_{FE} 有相似之处。

二、可关断晶闸管的应用

可关断晶闸管 VS 可广泛用于交流电机调速系统、逆变器、斩波器、电子开关等领域。

1. GTO 门极供电电路

VS 的门极供电电路如图 7-12 所示。E 为门极关断电源。当导通信号(高电平)加至晶体管 VT 的基极时,VT 导通,经过电容 C 触发 VS_2 导通。与此同时,E 还经过 R_1 、VT 给电容 C 充电, U_C 可达几十伏。当关断信号(正脉冲)来到时,高频晶闸管 VS_1 导通,电容上储存的电量经 R_2 、 VS_1 、 VS_2 (K-G) 放电。由于电容两端压降不能突变,所以给 VS_2 的门极加上负向脉冲,使之关断。该电路的关断信号前沿很陡,并能避免产生雪崩电流,是较为理想的门极供电电路。

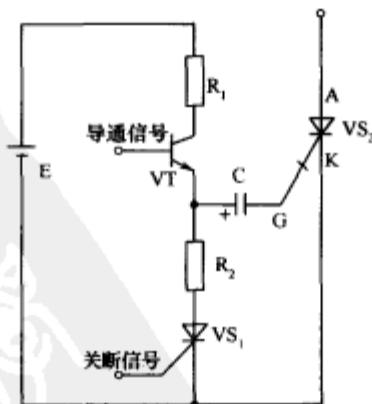


图 7-12 门极供电电路

2. 交流电机变频调速电路

由 VS 构成的交流电机变频调速系统的主电路如图 7-13 所示。三相桥式整流电路由 $\text{VD}_1 \sim \text{VD}_6$ 组成。电容 C 是滤波电容。利用 6 只可关断晶闸管 ($\text{VS}_{01} \sim \text{VS}_{06}$) 驱动三相交流电机 M。可关断晶闸管的门极分别加上脉宽调制(PWM)触发信号。图中,FU、TA、VS 构成保护电路。其中,熔断器 FU 作过流保护,VS 作过压保护。电流互感器 TA

用以检测直流电流,一旦发生过流现象,TA 就通过控制保护电路使晶闸管 VS 迅速导通,将故障电流旁路,并使 FU 熔断,从而保护 VS 不致损坏。

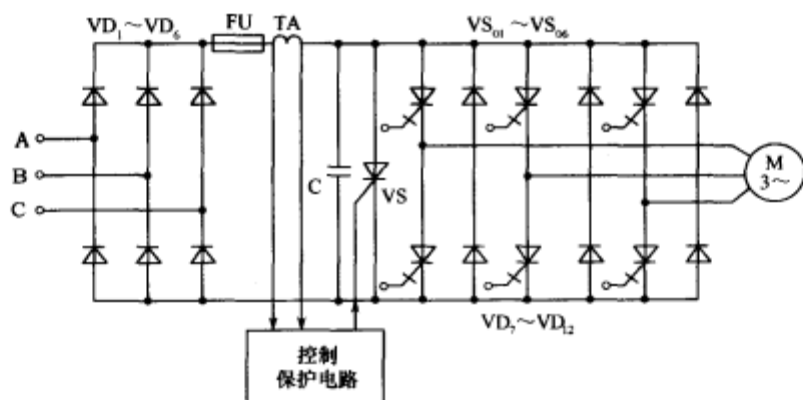


图 7-13 交流电机变频调速电路

三、可关断晶闸管的检测

1. 判定电极

将万用表拨至 $R \times 1$ 挡,测量任意两脚间的电阻,仅当黑表笔接门极 G,红表笔接阴极 K 时,电阻呈低阻值,其他情况下电阻值均为无穷大。由此可判定 G、K 极,剩下的就是阳极 A。

2. 检查触发能力

将万用表拨至 $R \times 1$ 挡,黑表笔接 A 极,红表笔接 K 极,电阻为无穷大;用黑表笔尖也同时接触 G 极,加上正向触发信号,表针向右偏转到低阻值,表明晶闸管已经导通;最后脱开 G 极,只要晶闸管维持通态,就证明被测管具有触发能力。

检测大功率可关断晶闸管时,可在 $R \times 1$ 挡外面串联一节 1.5V 的电池,以提高测试电压,使晶闸管可靠地导通。

3. 检查关断能力

现采用双表法检查可关断晶闸管的关断能力,如图 7-14 所示。



图 7-14 双表法检测可关断晶闸管的关断能力

将万用表 I 拨至 $R \times 1$ 挡,黑表笔接 A 极,红表笔接 K 极。将万用表 II 拨至 $R \times 10$ 挡,红表笔接 G 极,黑表笔接 K 极,施以负向触发信号,若表 I 指针向左摆到无穷大,证明可关断晶闸管具有关断能力。

第五节 BTG 晶闸管的识别与检测

一、BGT 晶闸管的特性

BTG 晶闸管是 20 世纪 80 年代发展起来的一种半导体器件。由于它既可作为晶闸管使用,又可作为单结晶体管(双基极二极管)使用,所以,有的书籍也称其为程控单结晶体管(PUT)或可调式单结晶体管。BTG 晶闸管的外形如图 7-15 所示。

BTG 晶闸管的内部结构、等效电路和电路符号如图 7-16 所示。

从图 7-16 中可以看出,BTG 晶闸管是一种四层三端逆阻型晶闸管。我们可以把四层三端平面钝化的 PNP 结构看成是由 $P_1N_1P_2$ 与 $N_1P_2N_2$ 两个三极管构成的复合管。其中 $P_1N_1P_2$ 部分的 P_1 端对应于 BTG 晶闸管的阳极 A, N_1 对应于 BTG 晶闸管的门极 G, $N_1P_2N_2$ 部分的 N_2 端对应于 BTG 晶闸管的阴极 K。由图中可知, $U_A = U_S + U_D$, 若 U_A 刚好使 BTG 晶闸管处于负阻特性的临界点, 则 $U_A = U_P$, $U_P = U_S + U_D$ 。式中 U_S 为门极 G 的电位, U_D 是阳极 A 和门极 G 间的正向压降, 通常为 $0.6V \sim 0.7V$ 。由于 G 点的电位是由外接电阻 R_1 与 R_2 的分压来决定的, 因此调节 R_1 与 R_2 的分压比即可设定 U_S 值。通常要求 U_S 值大于 $1.5V$ 。

BTG 晶闸管的伏安特性如图 7-17 所示。

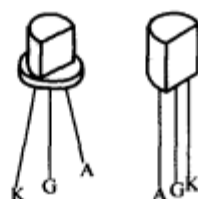


图 7-15 BTG 晶闸管的外形

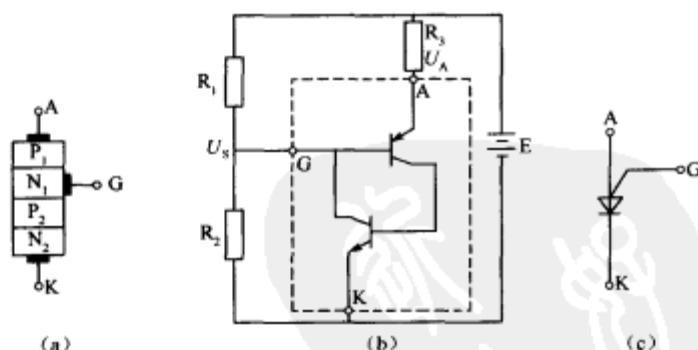


图 7-16 BTG 晶闸管的内部结构、等效电路和电路符号
(a)内部结构; (b)等效电路; (c)电路符号。

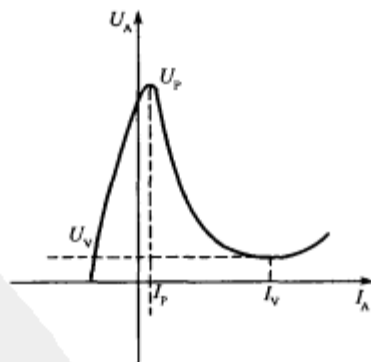


图 7-17 BTG 晶闸管的伏安特性

图 7-17 中标示出了它的几个主要参数。 U_P 为峰点电压, 是 BTG 晶闸管开始出现负阻特性时阳极 A 与阴极 K 之间的电压。 I_P 为峰点电流, 是阳极 A 与阴极 K 之间电压达到 U_P 时的 A、K 之间的电流。 I_P 值很小, 通常为 $1\mu A \sim 2\mu A$ 。 U_V 是谷点电压, 是 BTG 晶闸管由负阻区开始进入饱和区时阳极 A 与阴极 K 之间的电压。 I_V 为谷点电流, 是 A、K 之间电压达到 U_V 值时的阳极电流。

BTG 晶闸管的伏安特性曲线和单结晶体管基本相同, 但二者参数却有差异。单结晶体管(UJT)的两个基极电阻只 R_{b1} 和 R_{b2} 是由器件内部的结构所决定, 器件一经制成, 其分压比便固定不变。由于生产工艺上的原因, 分压比一般在 $0.3 \sim 0.8$ 之间。鉴于

BTG 晶闸管的门极对地等效电阻 $R_G = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 自由可调, 只需在外部改变 R_1 、 R_2 的电阻比, 即可调整参数值, 使应用更加灵活, 所以称其为程控单结晶体管。BTG 晶闸管与单结晶体管的另一个区别是前者的内部结构采用 N 门极, 与传统的 P 门极不同, 这种结构不仅使 BTG 晶闸管可作为单结晶体管使用, 还可作为小功率晶闸管使用。所以, BTG 晶闸管具有参数可调、触发灵敏度高、脉冲上升时间短(约 60ns)、漏电流小、输出功率大等突出优点, 被广泛用来构成可编程脉冲或锯齿波发生器、长延时器和过压保护器以及大功率晶体管的触发电路。

二、BTG 晶闸管的应用

根据前面分析可知, BTG 晶闸管和普通的 UJT 器件基本工作原理大致相同, 但内部结构有别, 因此它们的应用电路也有些差异。在使用 UJT 器件的电路中, UJT 可以由 BTG 晶闸管来替换, 但电路需要变动。在某些情况下, 使用 BTG 晶闸管反而会使电路简化。例如, 用 BTG 晶闸管代替 UJT 触发大功率晶闸管(可控硅), 由于 BTG 晶闸管的动态电阻小, 上升时间短(约 60ns), 所以脉冲输出的负载能力强, 可直接触发大功率晶闸管(可控硅), 省掉了普通 UJT 触发器中的脉冲变压器和放大管。下面举两个 BTG 晶闸管的具体应用实例。

1. 张弛振荡器

图 7-18 是张弛振荡器电路原理图, 图中 R_A 和 R_K 分别为阳极电阻和阴极电阻。门极 G 的电位由电源 E 经 R_1 、 R_2 分压而获得。当 U_A 低于 G 点电位 U_s 时, BTG 晶闸管处于关断状态, 电源通过 R_A 向电容 C_A 充电, U_A 随之上升。当 U_A 超过 U_s 大约 0.6V 时, BTG 由截止变为导通, C_A 所充电压迅速通过 A、K 极放电。当 U_A 放电至 G 点电位 U_s 时, BTG 由导通变回截止。这样周而复始, 产生张弛振荡。

2. 延时定时器

延时定时器电路如图 7-19 所示。它由两个 BTG 器件构成, BTG_1 起延时控制的作用, BTG_2 起晶闸管(可控硅)的作用。当电容器 C_1 (100 μ F) 上的电压充电至 BTG_1 的峰点电压 U_P 时, BTG_1 导通, G_1 点电位下降, 产生负脉冲。该负脉冲经 C_2 触发 BTG_2 的门极, 使 BTG_2 导通, 继电器 KL 通电。

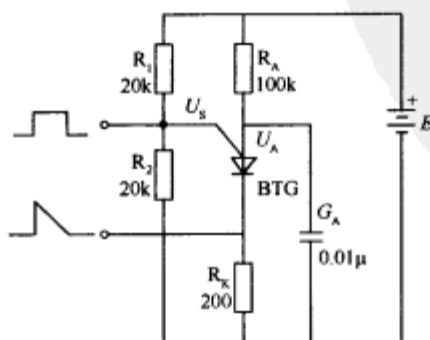


图 7-18 张弛振荡器

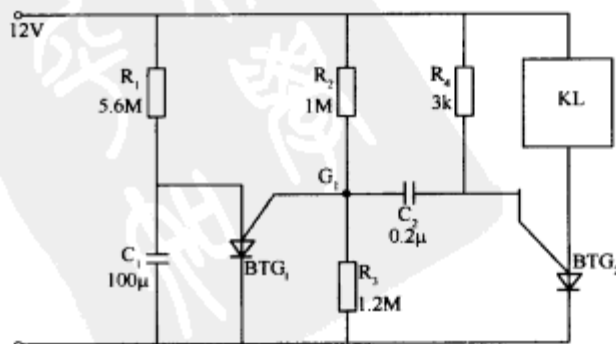


图 7-19 延时定时器

三、BTG 晶闸管的检测

1. 判别电极和好坏

由 BTG 晶闸管的等效电原理图可知, BTG 晶闸管的 A 与 K、G 与 K 之间均包含有多个正反向串联的 PN 结, 而在阳极 A 与门极 G 之间却仅有一个 PN 结, 据此用万用表电阻挡可准确地测出 A、G 电极, 余下的一脚便是阴极 K。具体方法是: 将万用表置于 $R \times 1k$ 挡, 红、黑表笔轮换任接某一对电极, 当测得某对管脚为低阻值时, 证明所测即是 PN 结的正向电阻, 此时黑表笔所接的便是阳极 A, 红表笔所接的则是门极 G, 另外一个管脚即是阴极 K。对于已知管脚排列的 BTG 晶闸管, 用这种方法也可判断其性能好坏。测试过程中, G、A 之间的反向电阻趋于无穷大, A、K 之间电阻也总是无穷大, 均不会出现低阻值的情况。否则, 说明被测 BTG 晶闸管性能不佳或已损坏。

2. 检测触发能力

将万用表置于 $R \times 1$ 挡, 黑表笔接阳极 A, 红表笔接阴极 K, 此时读数应为无穷大。接着用手指触摸门极 G, 此时人体的感应电压便可使管子导通, A、K 之间的电阻值应迅速降至数欧姆。由此说明管子能被正常触发导通, 否则说明管子已经损坏, 不能使用。

测试时需要注意的是, 由于 BTG 晶闸管的触发灵敏度很高, 即使是在开路状态下, 只要门极 G 上存在感应电压, 就有可能使 A、K 间处于导通状态。因此, 在测试操作时, 可先在阳极 A 与门极 G 之间用一根导线短路一下, 以强行将 BTG 晶闸管关断, 然后再进行触摸 G 极测试。这样可防止误判。

第六节 四端小功率晶闸管的识别与检测

一、四端小功率晶闸管的特性

四端小功率晶闸管也叫硅控制开关 (SCS), 是一种多功能半导体器件。内部结构、等效电路和电路符号如图 7-20 所示。

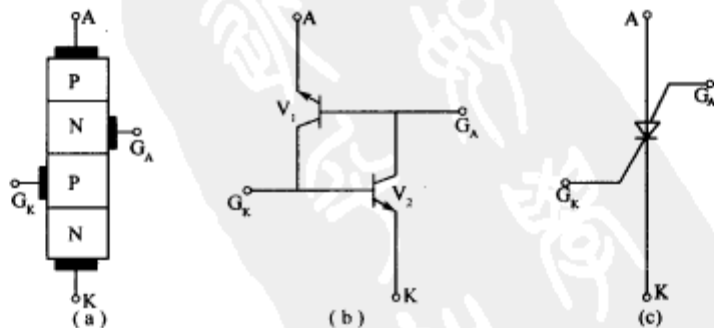


图 7-20 四端小功率晶闸管的内部结构、等效电路和电路符号

(a) 内部结构; (b) 等效电路; (c) 电路符号。

由内部结构图可见, 它是一种 PNP 四层四端器件, 四个引出端分别是阳极 A、阳极门极 G_A 、阴极 K 和阴极门极 G_K 。

从等效电路可以看出, 四端小功率晶闸管是由一只 PNP 晶体管 V_1 和一只 NPN 晶

体管 V_2 组成,它的灵敏度极高,门极触发电流极小,仅几 μA ,开、关时间 t_{ON} 和 t_{OFF} 都极短。

二、四端小功率晶闸管的检测

1. 判别电极

四端小功率晶闸管管脚排列底视图一般如图 7-21 所示。

从管键开始,顺时针旋转,依次为阴极 K、阴极门极 G_K 、阳极门极 G_A 、阳极 A。

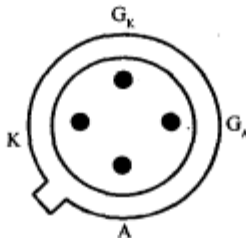


图 7-21 四端小功率晶闸管管脚排列底视图

2. PN 结单向导电性能的检测

由四端小功率晶闸管的内部结构和等效电路原理图可知,它共有三个 PN 结。因此,可用万用表电阻挡检查这三个 PN 结的单向导电特性是否正常来判断器件的好坏。检查时,将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,分别测量 A、 G_A 、 G_K 、 G_A 、 G_K 、K 之间的正、反向电阻,应符合表 7-2 所列阻值。若测得某对电极之间的正、反向电阻值均很小或均很大(即正、反向阻值差很小),则说明该 PN 结单向导电性能较差甚至已经击穿或烧断。这样的管子是不能使用的。

表 7-2 四端小功率晶闸管各电极间的阻值

黑表笔	A	G_A	G_K	G_A	G_K	K
红表笔	G_A	A	G_A	G_K	K	G_K
电阻值/(k Ω)	4~12	∞	2~10	∞	4~12	∞

3. 触发导通性能的检测

1) 检测 G_K 极触发能力

将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,黑表笔接 A 极,红表笔接 K 极,电阻应为无穷大,即管子为关断状态。用导线(或红表笔笔尖)将 K 极与 G_A 极短接一下(注意,红表笔要始终与 K 极接触),即相当于给 G_A 极加上负脉冲,此时若万用表指针大幅度向右摆动,阻值迅速减小,说明管子被触发导通,性能良好。若表针不动,则说明管子 G_A 极触发能力不正常。

2) 检测 G_K 极触发能力

将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,黑表笔接 A 极,红表笔接 K 极,此时电阻为无穷大,说明管子处于关断状态。用导线(或黑表笔笔尖)将 A 极与 G_K 极短接一下(注意,黑表笔要始终与 A 极接触),即相当于给 G_K 极加上了正脉冲,此时若万用表指针大幅度向右摆,阻值迅速减小,说明管子被触发导通,性能良好。若表针不动,则说明管子的 G_K 极触发能力不正常。

4. 关断性能的检测

1) G_A 极加正脉冲检测关断能力

先按“检测 G_A 极触发能力”或“检测 G_K 极触发能力”的方法使管子处于导通状态,然后用导线或黑表笔笔尖将 A 极与 G_A 极短接一下并立即脱离(注意,黑表笔始终与 A 极接触),这样相当于给 G_A 极加上了正向脉冲,此时,若万用表指针迅速向左回转至无穷

大,证明管子被关断。否则,说明被测管子的关断性能不良。

2) G_K 极加负脉冲检测关断能力

先按“检测 G_A 极触发能力”或“检测 G_K 极触发能力”的方法使管子处于导通状态。然后,用导线或红表笔笔尖将 K 极与 G_K 极短接一下并立即脱开(注意,红表笔要始终与 K 极接触),这样相当于给 G_K 极加上了负向脉冲,此时若万用表指针迅速向左回转至无穷大,证明管子被关断。否则,说明管子关断性能不良。

5. 逆导性的检测

所谓逆导性是指管子的反向导通特性。检测时,将 A 与 G_A 、K 与 G_K 分别短接,此时, A 与 K 之间实质上只有两个并联的 PN 结, A 极接 PN 结的负极, K 极接 PN 结的正极。把万用表置于 $R \times 1k$ 挡,先用红表笔接 A 极,黑表笔接 K 极,所得电阻值应为数千欧左右;再交换表笔位置进行测量,所得阻值应为无穷大。

第七节 光晶闸管的识别与检测

一、光晶闸管的结构与原理

光晶闸管(LAT)俗称光控硅,它是一种利用光信号控制的开关器件,其伏安特性和普通晶闸管相似,只是用光触发代替了电触发。

光晶闸管的内部结构、符号和外形如图 7-22 所示。

从内部结构上看,光晶闸管与普通晶闸管也基本相同,它也是由 $P_1N_1P_2N_2$ 四层半导体叠合而成的,其中 N_1 和 P_2 构成的 PN 结 J_2 相当于一个光电二极管。不过,因为光晶闸管是用光信号触发的,并不需要引出控制极,所以它是一个只有阳极(A)和阴极(K)的二端元件。另外,为了使 J_2 结能接受光照,在光晶闸管的顶端开有一个玻璃窗。

如果我们把光可控硅接上正向电压(阳极为正,阴极为负),这时的 J_2 结处于反向偏置,因此整个光可控

硅处于阻断状态。当一定照度的光信号通过玻璃窗照射到 J_2 处的光敏区时,在光能的激发下, J_2 附近产生大量的电子和空穴两种载流子,它们在外电压的作用下可以穿过 J_2 阻挡层,使光可控硅从阻断状态变成导通。

图 7-23 是光晶闸管的等效电路。

在没有光照的情况下,光电二极管 VD 处于截止状态, VT_1 、 VT_2 两个三极管都没有基极电流,所以尽管这时光晶闸管上所加的是正向电压,整个电路仍然不通,也就是光晶闸管处于阻断状态。当光信号照射到光电二极管 VD 时, VD 导通,并有光电流 I_g 通过。这个电流正是流入 VT_1 的基极电流,假设 VT_1 的电流放大倍数是 β_1 ,那么, I_g 经过放大后就会在 VT_1 的集电极中产生一个 $\beta_1 \cdot I_g$ 的电流。 VT_1 中的这个集电极电流同时又是 VT_2 的基极电流,假设 VT_2 的电流放大倍数是 β_2 ,于是在 VT_2 的集电极中将会产生一个

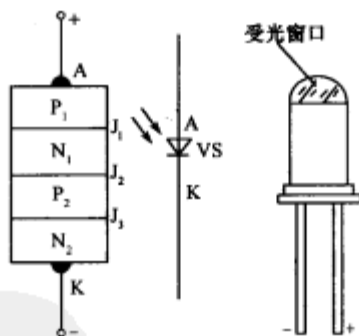


图 7-22 光晶闸管的结构、符号和外形

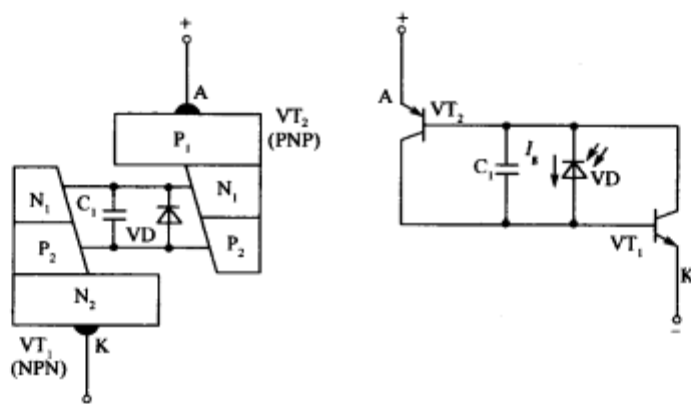


图 7-23 光晶闸管的等效电路

$\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot I_g$ 的电流。而这个新产生的电流又正好是 VT_1 的基极电流,在 VT_1 的集电极中又会产生被放大了 β_1 倍的集电极电流……如此循环不已,形成强烈的正反馈。于是,在极短的时间内使 VT_1 、 VT_2 饱和导通,光晶闸管便迅速从阻断转入导通状态。

在光晶闸管导通之后,即使去掉光信号,由于内部的正反馈过程已经形成,所以光晶闸管仍然处于导通状态。这个特点和普通的晶闸管在触发导通后即使去掉触发信号,晶闸管仍然导通的情形是一样的。要想使光晶闸管重新变成阻断状态,必须去掉阳极和阴极上所加的正向电压。

二、常见光晶闸管

1. 光电两用晶闸管

在光晶闸管中再引出一个控制极,就可以做成一个光电两用的晶闸管。如图 7-24 所示。

这种晶闸管在需要用光触发时,就使光信号照射到 J_2 结上;在需要电触发时,就将电信号接到控制极上。由于它有一个控制极,所以和普通晶闸管一样,也是三端元件。

2. 双向光晶闸管

和普通晶闸管一样,光晶闸管也可以作成双向的,即双向光晶闸管。这种光晶闸管是在一个硅片上,制成两个反向并联的光晶闸管,硅片的两侧做成两个斜面,可以分别接受从两个不同方向的光照。为了防止两个光晶闸管互相影响造成误动作,在它们中间有一个阻止载流子移动的隔离区。这种双向光晶闸管在功能上相当于两个反向并联使用的光晶闸管。由于它只需要一个散热器,所以体积可以大大减小。双向光晶闸管在电路中的符号如图 7-25 所示。

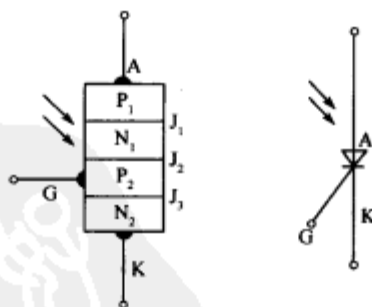


图 7-24 光电两用晶闸管

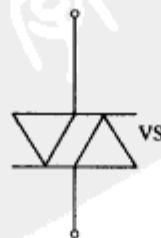


图 7-25 双向光晶闸管

三、光晶闸管的使用

光晶闸管有二端的和三端的两种,在使用不带控制极的二端光晶闸管时,情况比较简单,可以像使用光电二极管那样,按照极性要求接入电路。图 7-26 就是使用二端光晶闸管的自锁光控电路。

在没有光照时,光晶闸管 VS 阻断,负载 R_L 中没有电流通过,当有光信号照射时,VS 导通, R_L 中有电流通过,而且在去掉光信号以后,VS 仍然是导通的,所以,这是一种自锁式光控电路。要想切断电路,必须按下开关 S,使 VS 失电而阻断。

在使用带控制极的三端光晶闸管时,如果采用光信号控制的方式,这时控制极不用,但不能悬空,应该在控制极与阴极之间接上一个 $2\text{k}\Omega\sim 100\text{k}\Omega$ 的电阻 R,如图 7-27 所示。

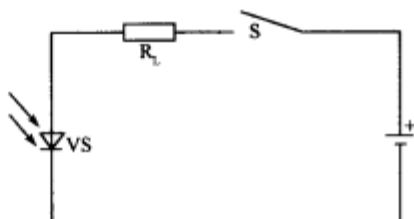


图 7-26 二端光晶闸管的使用

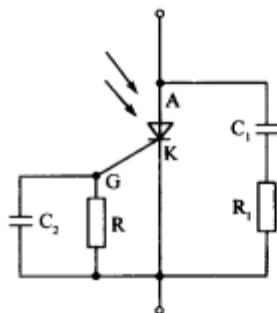


图 7-27 三端光晶闸管的使用

接上电阻 R 后,可以减轻由于温度变化对触发灵敏度的影响。此外,对这种三端光晶闸管,与普通晶闸管一样,也要考虑电压上升率等参数的要求。例如,为了防止因电压上升速度超过允许的电压上升率而造成的误导通,可在阳极和阴极之间接上一个 RC 吸收电路,如图 7-27 中的 R_1 、 C_1 ;有时也可在控制极和阴极之间并联一个 $0.001\mu\text{F}\sim 0.01\mu\text{F}$ 的电容 C_2 。图中的 R_1 、 C_1 还起着对晶闸管的过电压保护作用。

在使用中还要考虑光信号的传输问题。由于光晶闸管是靠光的照射导通的,因此它的信号系统与晶闸管之间只要保证能接收到正常的光照,不需要电的连接。在近距离的情况下,光信号的传输可以用最简单的方式,就是使光源直接照射到光晶闸管上。当距离较远时,就必须设置专用的光信号传输系统。例如可以利用光导纤维传输,不仅方便,而且安全可靠。这也是光晶闸管的突出优点。

四、光晶闸管的检测

用万用表检测小功率光晶闸管时,可将万用表置于 $R\times 1$ 档,在黑表笔上串接 1 节~3 节 1.5V 干电池,测量两管脚之间的正、反向电阻值,正常时均应为无穷大。然后再用手电筒或激光笔照射光晶闸管的受光窗口,此时应能测出一个较小的正向电阻值,但反向电阻值仍为无穷大。在较小电阻值的一次测量中,黑表笔接的是阳极 A,红表笔接的是阴极 K。

也可用图 7-28 中电路对光晶闸管进行测量。接通电源开关 S,用手电筒照射晶闸管 VS 的受光窗口,为其加上触发光源(大功率光晶闸管自带光源,只要将其光缆中的发光二极管或半导体激光器加上工作电压即可,不用外加光源)后,指示灯 EL 应点亮,撤离光

源后指示灯 EL 应维持发光。

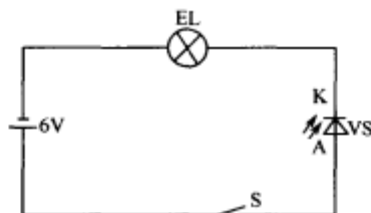


图 7-28 光晶闸管测试电路

若接通电源开关 S 后(尚未加光源),指示灯 EL 即点亮,则说明被测晶闸管已击穿短路。若接通电源开关并加上触发光源后,指示灯 EL 仍不亮,在被测晶闸管电极连接正确的情况下,则是该晶闸管内部损坏。若加上触发光源后,指示灯发光,但取消光源后指示灯即熄灭,则说明该晶闸管触发性能不良。

第八节 其他晶闸管的识别与检测

一、逆导晶闸管

1. 逆导晶闸管的特性

逆导晶闸管(RCT)俗称逆导可控硅,它在普通晶闸管的阳极 A 与阴极 K 间反向并联了一只二极管(制作于同一管芯中),如图 7-29 所示。

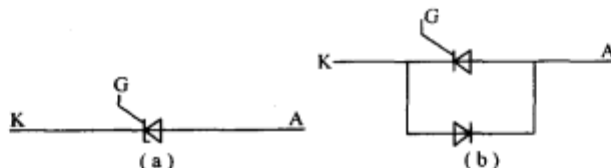


图 7-29 逆导晶闸管的符号和等效电路

(a) 电路图形符号; (b) 等效电路。

逆导晶闸管较普通晶闸管的工作频率高,关断时间短、误动作小,可广泛应用于超声波电路、电磁灶、开关电源、电子镇流器、超导磁能储存系统等领域。

2. 逆导晶闸管的检测

1) 判别各电极

根据逆导晶闸管内部结构可知,在阳极 A 与阴极 K 之间并联有一只二极管(正极接 K 极),而门极 G 与阴极 K 之间有一个 PN 结,阳极 A 与门极之间有多个反向串联的 PN 结。

用万用表 $R \times 100$ 挡测量各电极之间的正反向电阻值时,有一个电极与另外两个电极之间正、反向测量时均会有一个低阻值,这个电极就是阴极 K。将黑表笔接阴极 K,红表笔依次去触碰另外两个电极,显示为低阻值的一次测量中,红表笔接的是阳极 A。再将红表笔接阴极 K,黑表笔依次触碰另外两电极,显示低阻值的一次测量中,黑表笔接的便是门极 G。

2) 测量其好坏

用万用表 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡测量反向导通晶闸管的阳极 A 与阴极 K 之间的正、反向电阻值,正常时,正向电阻值(黑表笔接 A 极)为无穷大,反向电阻值为几百欧姆至几千

欧姆(用 $R \times 1k$ 挡测量为 $7k\Omega$ 左右,用 $R \times 100$ 挡测量为 900Ω 左右)。若正、反向电阻值均为无穷大,则说明晶闸管内部并接的二极管已开路损坏。若正反向电阻值为很小,则是晶闸管短路损坏。

正常时反向导通晶闸管的阳极 A 与门极 G 之间的正、反向电阻值均为无穷大。若测得 A、G 极之间的正、反向电阻值均很小,则说明晶闸管的 A、G 极之间击穿短路。

正常时反向导通晶闸管的门极 G 与阴极 K 之间的正向电阻值(黑表笔接 G 极)为几百欧姆至几千欧姆,反向电阻值为无穷大。若测得其正、反向电阻值均为无穷大或均很小,则说明该晶闸管 G、K 极间已开路或短路损坏。

3) 触发能力检测

用万用表 $R \times 1$ 挡,黑表笔接阳极 A,红表笔接阴极 K(大功率晶闸管应在黑表笔或红表笔上串接 1 节~3 节 1.5V 干电池),将 A、G 极间瞬间短路,晶闸管即能被触发导通,万用表上的读数会由无穷大变为低阻值。若不能由无穷大变为低阻值,则说明被测晶闸管的触发能力不良。

二、温控晶闸管

1. 温控晶闸管的特性

温控晶闸管是一种新型温度敏感开关器件,它将温度传感器与控制电路结合为一体,输出驱动电流大,可直接驱动继电器等执行部件或直接带动小功率负荷。

温控晶闸管的结构与普通单向晶闸管的结构相似(电路图形符号也与普通晶闸管相同),也是由 PNP 半导体材料制成的三端器件,但在制作时,温控晶闸管中间的 PN 结中注入了对温度极为敏感的成分(如氚离子),因此改变环境温度,即可改变其特性曲线。

在温控晶闸管的阳极 A 接上正电压,在阴极 K 接上负电压,在门极 G 和阳极 A 之间接入分流电阻,就可以使它在一定温度范围内(通常为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +130^{\circ}\text{C}$)起开关作用。温控晶闸管由断态到通态的转折电压随温度变化而改变,温度越高,转折电压值就越低。

2. 温控晶闸管的检测

1) 判别各电极

温控晶闸管的内部结构与单向晶闸管相似,因此也可以用判别普通晶闸管电极的方法来找出温控晶闸管的电极。

2) 性能检测

图 7-30 是温控晶闸管的测试电路。电路中, R 是分流电阻,用来设定晶闸管 VS 的开关温度,其阻值越小,开关温度设置值就越高。C 为抗干扰电容,可防止晶闸管 VS 误触发。HL 为 6.3V 指示灯(小电珠),S 为电源开关。

接通电源开关 S 后,晶闸管 VS 不导通,指示灯 HL 不亮。用电吹风“热风挡”给晶闸管 VS 加温,当其温度达到设定温度值时,指示灯亮,说明晶闸管 VS 已被触发导通。若再用电吹风“冷风”挡给晶闸管 VS 降温(或待其自然冷却)至一定温度值时,指示灯能熄灭,则说明该晶闸管性能良好。若接通电源开关后指示灯即亮,或给晶闸管加温后指示灯不亮,或给晶闸管降温后指示灯不熄灭,则是被测晶闸管击穿损坏或性能不良。

三、晶闸管模块

随着电子技术的发展,大功率晶闸管模块已由原来辫状引线型发展为模块型。晶闸

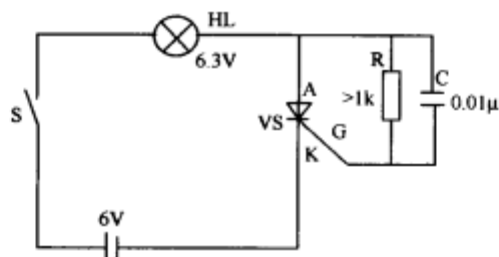


图 7-30 温控晶闸管测试电路

管模块具有体积小、重量轻、散热好、安装方便等优点,被广泛应用于电动机调速、无触点开关、交流调压、低压逆变、高压控制、整流、稳压等电子电路中。

大功率晶闸管模块的外形及内部电路如图 7-31 所示,它由两只参数一致的单向晶闸管正向串联起来,这样便于以此组成各种不同形式的控制电路。

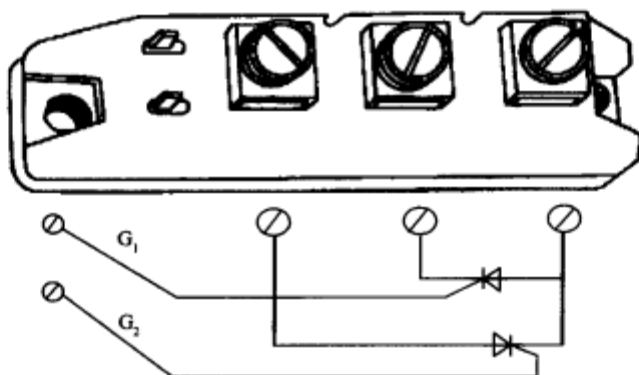


图 7-31 大功率晶闸管模块的外形及内部电路

图 7-32 是几种常用的接法,其中图(a)连接成与门电路,图(b)为双向电路,图(c)为半桥控制电路,图(d)为全桥控制电路。

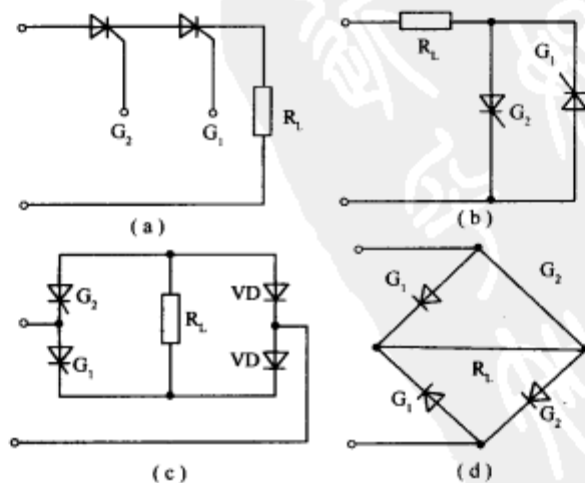


图 7-32 晶闸管模块的几种接法

图 7-33 是一个舞台灯光调节器电路。晶闸管模块内部的两只单向晶闸管接为反向并联形式,等效成一只双向晶闸管,VT₁、VT₂ 组成脉冲触发电路,调整图中的 300k Ω 电位器,可改变触发晶闸管的导通角,从而改变灯光的亮度。

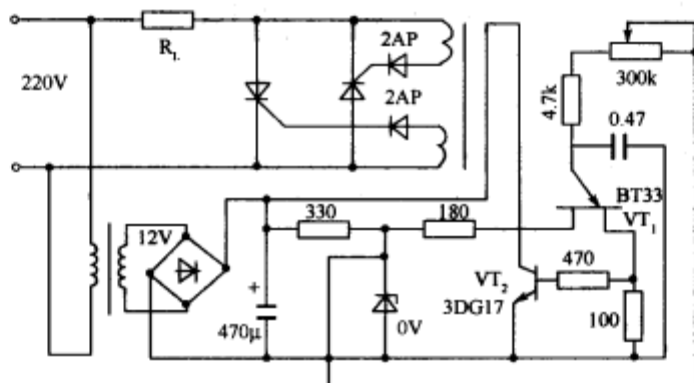


图 7-33 晶闸管模块的应用

第八章 电声器件的识别与检测

电声元件是将电信号转换为声音信号或将声音信号转换成电信号的换能元件。扬声器和耳机就是将电信号转换成声频信号的电声元件；而传声器(话筒)则是可将声音信号转换为电信号电声元件。电声元件在收音机、收录机、扩音机、电视机、计算机、电话机、测量仪器等各种电子电器设备中的应用十分广泛。电声元件的种类很多,本章主要介绍几种最为常用的电声器件。

第一节 扬声器的识别与检测

一、扬声器的特性及种类

扬声器又称喇叭,是一种电声转换器件,它将模拟的话音电信号转化成声波。是收音机、录音机、音响设备中的重要元件,它的质量优劣直接影响音质和音响效果。扬声器在电路中用图 8-1 所示符号表示,代表字母为 B 或 BL。

扬声器的品种较多,主要有以下几种。

1. 电动(动圈)扬声器

电动扬声器又称动圈扬声器,在电视机、收音机中应用十分广泛,它按其所采用的磁性材料来分,有永磁(铝镍钴合金)的和恒磁(钽铁氧体)的两种。永磁式扬声器因磁铁可以做得小,所以常安装在内部,又称为内磁式。它的特点是漏磁小、体积小,但价格稍贵。恒磁式扬声器往往要求磁体体积较大,所以安装在外部,又称为外磁式。此种扬声器特点是漏磁大、体积大,但价格便宜,常用于普通收音机。电动式扬声器由纸盆、音圈、音圈支架、磁铁、盆架等组成,如图 8-2 所示。当音频电流通过音圈时,音圈产生随音频电流而变化的磁场,这一变化磁场与永久磁铁的磁场发生相吸或相斥作用,导致音圈产生机械振动,并且带动纸盆振动,从而发出声音。

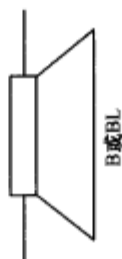


图 8-1 扬声器的电路符号

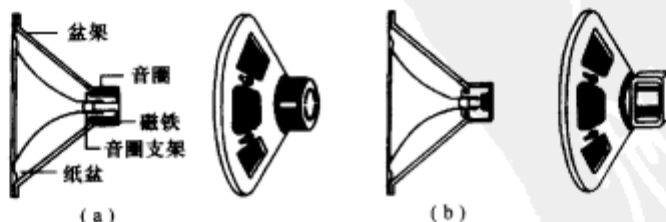


图 8-2 电动式扬声器

(a)恒磁式(外磁式); (b)永磁式(内磁式)。

2. 纸盆扬声器

纸盆扬声器是电动扬声器的典型结构之一。它是由振动系统、磁路系统和辅助系统三部分组成的。振动系统包括锥形纸盆、音圈和定心支片等；磁路系统包括永磁磁体、导磁板等；辅助系统包括盆架、接线板、压边和防尘盖等。现在生产的双纸盆扬声器将高、低音扬声器做在一起，大、小纸盆形成一个整体一起发声，因此频响宽，效果较好。双纸盆扬声器的外形如图 8-3 所示。

3. 号筒式扬声器

号筒式扬声器通常是应用电动原理制成的，它由振动系统（高音头）和号筒两部分构成。振动系统与电动纸盆扬声器相似，不同的是它的振膜为一球顶形膜片，而非纸盆。振膜的振动通过号筒与空气耦合而辐射声波。这类扬声器效率高、音量大，因而俗称高音喇叭。它适合于室外及广场使用。但频率范围较窄，单个使用音质较差。号筒式扬声器的外形如图 8-4 所示。

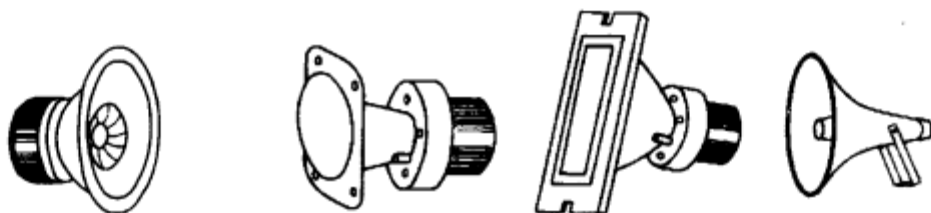


图 8-3 双纸盆扬声器的外形

图 8-4 号筒式扬声器的外形

4. 橡皮边扬声器

橡皮边扬声器是在纸盆扬声器的基础上发展起来的。它的折环是用橡皮制成的，目前也有用其他材料的。它的共振频率较一般扬声器要低得多。因此常用作组合扬声器的低音单元，尤其用在封闭箱中，可以使体积较小的箱子重放较低的频率。这种扬声器失真较小，瞬态特性亦较好，但效率较低。橡皮边扬声器的外形如图 8-5 所示。

5. 舌簧扬声器

舌簧扬声器是应用电磁原理做成的扬声器，属于电磁扬声器的一种。主要由永久磁铁、线圈、衔铁（舌簧）构成。衔铁位于线圈内，并与纸盆相连接。利用纸盆的吸引力和排斥力，以衔铁作媒介，带动纸盆，把声波辐射到空间去。这种扬声器阻抗高，灵敏度高，工艺简便，但频率范围较窄，目前已很少使用。舌簧扬声器的外形如图 8-6 所示。

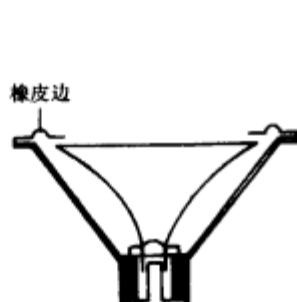


图 8-5 橡皮边扬声器的外形

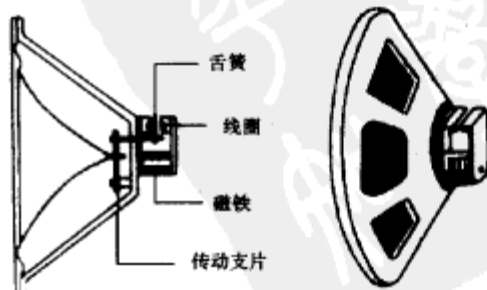


图 8-6 舌簧扬声器的外形

6. 球顶形扬声器

球顶形扬声器是比较常见的高音扬声器,其外形如图 8-7 所示。由于它用音膜直接发音,使高音更加清晰洪亮。

7. 静电扬声器

静电扬声器又名电容扬声器,是应用静电场产生机械力的原理做成的扬声器。它是由一个固定电极和一个可动电极形成的电容器构成的,在两个电极间需要加一固定直流电压(即极化电压),使之产生一个固定静电场。当声频电压加到两电极上时,由于其间所产生的交变电场与固定静电场发生相互作用,则电极间有一个与声频电压相应的交变力,使可动电极随之振动,与空气耦合而辐射声波。可动电极一般是在塑料膜上喷镀一层导电金属制成。现在已经出现了省去极化电源而用薄膜驻极体做成的静电扬声器。



图 8-7 球顶形扬声器的外形

8. 离子扬声器

离子扬声器是用声频调制的高频信号,在一个特殊的装置里使空气电离,电离的强度随声频信号而改变,使空气发生相应的膨胀和压缩,使设在装置中的喇叭喉部产生声波,由喇叭耦合辐射到空气中去。这类扬声器高频性能优良,失真小,但低频性能差,而且结构复杂,需要使用高压高频源、调制器和屏蔽等装置,故应用受到限制。

9. 组合扬声器

在需要高保真系统扬声器的地方,一般要求具有能重放 20Hz~20000Hz 的频率范围。用一个扬声器实际上达不到上述要求。因而需要用两个或几个不同频率范围的扬声器单元,通过分频的方法,组合安装在一个扬声器箱内。这种在一个扬声器箱内装有几个扬声器单元和分频器,甚至还有音量衰减器的放声系统,称为组合扬声器。

二、扬声器的主要技术参数

扬声器的主要技术参数有标称阻抗、额定功率、频率响应、灵敏度、谐振频率等。

1. 标称阻抗

标称阻抗又称额定阻抗,是制造厂家所规定的扬声器(交流)阻抗值。在这个阻抗上,扬声器可获得最大的输出功率。额定阻抗一般印在磁钢上,是扬声器的重要指标。通常,口径小于 90mm 的扬声器的标称阻抗是用 1000Hz 的测试信号测出的,口径大于 90mm 的扬声器的标称阻抗则是用 400Hz 测试频率测出的。选用扬声器时,其标称阻抗一般应与音频功放器的输出阻抗相符。

2. 标称功率

标称功率又额定功率,是指扬声器能长时间正常工作的允许输入功率。扬声器在额定功率下工作是安全的,失真度也不会超出规定值。当然,实际上扬声器能承受的最大功率要比额定功率大,所以不必担心因音频信号幅度变化过大、瞬时或短时间内音频功率超出额定功率值而导致扬声器损坏。常用扬声器的功率有 0.1W、0.25W、1W、3W、5W、10W、60W、120W 等。

3. 频率响应

频率响应又称有效频率范围,是指扬声器重放音频的有效工作频率范围。扬声器的

频率响应范围显然越宽越好,但受结构及工艺等因素的限制,一般总不可能很宽,国产普通纸盆 130mm(5 英寸)扬声器的频率响应大多为 120Hz~10000Hz,相同尺寸的优质发烧级同轴橡皮边或泡沫边扬声器则可达 55Hz~21kHz。

4. 特性灵敏度

特性灵敏度简称灵敏度,是指在规定的频率范围内,在自由场条件下,馈给扬声器 1W 粉红噪声信号,在其参考轴上距参考点 1m 处能产生的声压。扬声器灵敏度越高,其电声转换效率就越高。

5. 谐振频率

谐振频率是指扬声器有效频率范围的下限值。通常谐振频率越低,扬声器的低音重放性能就越好。优秀的重低音扬声器的谐振频率多为 20Hz~30Hz。

三、扬声器的检测

1. 估测阻抗和判断好坏

一般在扬声器磁体的商标上都标有阻抗值。但有时也可能遇到标记不清或标记脱落的情况。这时,可用下述方法进行估测。

将万用表置 $R \times 1$ 挡,调零后,测出扬声器音圈的直流铜阻 R ,然后用估算公式 $Z = 1.17R$ 算出扬声器的阻抗。例如,测得一只无标记扬声器的直流铜阻为 6.8Ω ,则阻抗 $Z = 1.17 \times 6.8 = 7.9\Omega$ 。一般电动扬声器的实测电阻值约为其标称阻抗的 80%~90%,例如,一只 8Ω 的扬声器,实测铜阻值约为 $6.5\Omega \sim 7.2\Omega$ 。

扬声器是否正常,除可用以上方法测其阻抗外,还可用以下方法进行简易判断。方法是:将万用表置 $R \times 1$ 挡,把任意一只表笔与扬声器的任一引出端相接,用另一只表笔断续触碰扬声器另一引出端,此时,扬声器应发出“喀喀”声,指针亦相应摆动。如触碰时扬声器不发声,指针也不摆动,说明扬声器内部音圈断路或引线断裂。

2. 判断相位

在制作安装组合音箱时,高低音扬声器的相位是不能接反的。有的扬声器在出厂时,厂家已在相应的引出端上注明了相位,但有许多扬声器上没注明相位,所以正确判断出扬声器的相位是很有用处的。判断相位的方法是:将万用表置于最低的直流电流挡,例如 $50\mu A$ 或 $100\mu A$ 挡,用左手持红、黑表笔分别跨接在扬声器的两引出端,用右手食指指尖快速地弹一下纸盆,同时仔细观察指针的摆动方向。若指针向右摆动,说明红表笔所接的一端为正端,而黑表笔所接的一端则为负端;若指针向左摆,则红表笔所接的为负端,而黑表笔所接的为正端。测试时应注意,在弹纸盆时不要用力过猛,切勿使纸盆破裂或变形将扬声器损坏;而且千万不要弹音圈的防尘保护罩,以防使之凹陷。

四、扬声器使用注意事项

扬声器是发声器件,直接影响到听音效果的好坏。因此,正确地使用扬声器是非常重要的。除了要选择灵敏度高、失真小、频响宽的扬声器之外,在使用中一定要使扬声器工作在最佳状态。在具体使用中应注意以下几点。

1. 注意防潮

扬声器应放置于干燥之处,因为潮气容易使扬声器的纸盆软化并变形,使音圈霉烂、

位移,甚至与磁铁摩擦。

2. 注意防振

剧烈的振动和撞击,会引起扬声器磁铁失磁、变形和碎裂损坏。

3. 切忌超功率使用

在接入电路时,一定要注意加到扬声器的功率不得超过它的额定功率,否则将引起纸盆振破,音圈烧毁,导致其报废。

4. 远离高温,勿靠近热源

若扬声器长期受热容易引起退磁。

5. 阻抗匹配

每一种扬声器都有其一定的阻抗,如果阻抗失配,扬声器的最大效率就不能得以发挥,而且可能造成失真增大,甚至将扬声器烧坏。

五、扬声器的更换

当扬声器损坏后,除简单故障可修复外,一般应进行更换,更换时,应注意以下问题。

1. 注意扬声器的口径及外形

代换时,新、旧扬声器口径要相同。例如代换用于收录机的扬声器,要根据收录机机壳内的容积,来选择扬声器。若扬声器的磁体太大,会使磁体刮碰电路板上的元器件;若磁体太高,则可能导致机壳的前、后盖合不上。对于固定孔位置与原固定位置不同的扬声器,可根据机壳前面板固定柱的位置,重新钻孔安装,或采用卡子来固定扬声器。

2. 注意扬声器的阻抗

现以 OTL 功率放大器为例,说明扬声器阻抗的重要性。OTL 形式的功放级输出端的负载阻抗,虽然不像用输出变压器耦合方式的功放级对阻抗要求那么严格,但阻抗匹配也不能相差太大。例如,某 OTL 功放级输出端要求配接阻抗 8Ω 的负载,可以输出 $2W$ 的功率,其输出音频电压为

$$U = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{2 \times 8} = 4(V)$$

其输出音频电流为

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2}{4} = 0.5(A)$$

式中; R 为负载阻抗(Ω); P 为输出功率(W)。

若配接阻抗为 4Ω 的负载,则输出功率为

$$P = \frac{U^2}{R} = 4(W)$$

输出音频电流为

$$I = \frac{U}{R} = 1(A)$$

通过以上对照可以看出,负载阻抗减小一半时,则输出功率就增加一倍。其输出电流也增大近一倍,这就要考虑到功放电路中某些晶体管的一些相关参数指标是否满足要求。例如,功率放大管的集电极最大电流 I_{CM} 值和耗散功率 P_{CM} 值等是否够用。若功放管的上述参数指标不够用而随意降低其负载阻抗值,在放大器满功率输出时,势必将功放管烧

毁。当然,这种情况也包括采用功放集成电路的功放级。

3. 注意扬声器的额定功率

为了增加保真度,一般功放级的输出功率均大于扬声器的额定功率的2~3倍或更多些。这种情况称之为功率储备,其目的是当音量电位器开得不大时,失真度最小,而输出的声音已经足够响亮,从而获得最佳放音效果。从这个意义上来讲,代换扬声器时,不要选配额定功率太大的扬声器,否则的话,当音量电位器开小时,其输出功率没有足够力量推动纸盆振动或振动幅度太小,声音便显得无力、不好听;当音量电位器开足后,放大器失真度又相应地增大。但是,也不能使扬声器的额定功率小于放大器的输出功率太多,两者相差悬殊也容易将扬声器的音圈烧坏或使纸盆移位。

4. 注意扬声器的电性能指标

选配扬声器,要求失真度小、频率特性好和灵敏度高。

第二节 耳机的识别与检测

一、耳机的特性

耳机也是一种电声转换器件,它们的结构与电动式扬声器相似,也是由磁铁、音圈和振动膜片等组成。但耳机的音圈大多是固定的,耳机的外形及电路符号如图8-8所示。

耳机的主要技术参数有频率响应、阻抗、灵敏度、谐波失真等。随着音响技术的不断发展,耳机的发展也十分迅速。现代音响设备,如高级随身听、高音质立体声放音机等,都广泛采用了平膜动圈式耳机,其结构更类似于扬声器,且具有频率响应好、失真小等突出优点。平膜动圈式耳机多数为低阻抗类型,如 $20\Omega\times 2$ 和 $30\Omega\times 2$ 。

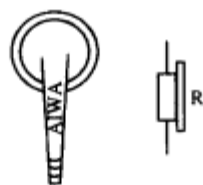


图8-8 耳机的
外形及电路符号

二、耳机的检测

利用万用表可方便地检测耳机的通断情况。目前,双声道耳机使用较多,耳机插头有三个引出点,一般插头后端的接触点为公共点,前端和中间接触点分别为左、右声道引出端。检测时,将万用表置 $R\times 1$ 挡,任一表笔接在耳机插头的公共点上,然后用另一表笔分别触碰耳机插头的另外两个引出点,相应的左或右声道的耳机应发出“喀喀”声,指针应偏转,指示值分别为 20Ω 或 30Ω 左右,而且左、右声道的耳机阻值应对称。如果测量时无声,指针也不偏转,说明相应的耳机有引线断裂或内部焊点脱开的故障。若指针摆至零位附近,说明相应耳机内部引线或耳机插头处有短路的地方。若指针指示阻值正常,但发声很轻,一般是耳机振膜片与磁铁间的间隙不对造成的。

三、耳机的维修

下面以双声道耳机为例,介绍其修理方法。

1. 引线齐根折断

由于佩戴时耳机经常弯折,很容易在耳机根部折断,造成接触时好时坏。修理时,将耳机线齐根剪断,剥下外面的海绵套,用钟表起子在后盖引出线部分的下部轻轻向上撬,

就可把后盖与耳机体脱开。然后取下后盖,可以看到内部有两个焊片,将残留的引线焊下,从后盖的引线孔中拉出,再用与线径差不多的钟表起子将引线孔清理一下,将剪断的引线通过孔穿进去,分别焊在两个焊片上。

2. 信号弱时无声,信号强时只有“喀喀”声

这一般是音圈与音膜脱离所致。修理时,可取下耳机的海绵套,就可看到耳机的正面为一多孔金属片,如图 8-9 所示。

将钟表起子插入一个小孔里(注意插入的深度要适量,不要刺破下面的音膜),轻轻向上挑,前盖便可卸下。这时可以看到耳机的音膜如图 8-10 所示。

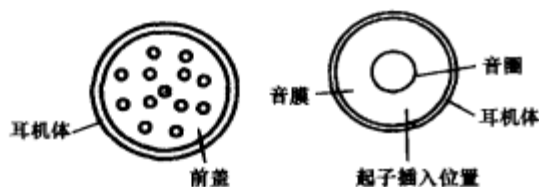


图 8-9 耳机正面的多孔金属片



图 8-10 耳机的音膜

按照图 8-10 上的位置伸入一支钟表起子,顺着耳机的外沿转一圈,将音膜取下来(注意:不要损伤两根音圈引出线)。将耳机翻过来,轻轻拍打,音圈就会掉出来。然后用少许 502 胶涂在音膜中心的一个圆形压痕上。将音圈与圆形压痕对准放好,轻捏几下,放置一段时间后,装入耳机。再在耳机边缘上沿涂少许 502 胶,将多孔金属片盖好,压紧即可。

3. 耳机完全无声

这是因为音圈引出线断线所致,用万用表 $R \times 100$ 挡测试时电阻为无穷大。对此,检修时可先按照前面的步骤将前、后盖都打开(注意:这时不必剪断耳机线,可以沿着耳机线把后盖推上去),用镊子把音圈从音膜上取下,可以看到音圈上有两条引出线如图 8-11 所示。

用镊子将其拉出少许,用烙铁上锡后焊在耳机背面的焊片上,然后再将耳机装好即可。

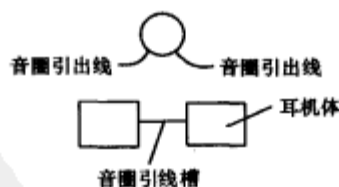


图 8-11 音圈上的引出示意图

第三节 压电陶瓷蜂鸣片和蜂鸣器的识别与检测

一、压电陶瓷蜂鸣片

1. 压电陶瓷蜂鸣片的特性

压电陶瓷蜂鸣片的外形结构及电路符号如图 8-12 所示。

通常它是用锆钛酸铅或铌镁酸铅压电陶瓷材料制成。在陶瓷片的两面制备上银电极,经极化、老化后,用环氧树脂把它跟黄铜片(或不锈钢片)粘贴在一起成为发声元件。当在沿极化方向的两面施加振荡电压时,交变的电信号使压电陶瓷带动金属片一起产生弯曲振动,并随此发出响亮的声音。

压电陶瓷蜂鸣片的特点是：体积小、重量轻、厚度薄、耗电省、可靠性高；声响可达 120dB，且造价低廉。因此它可在电子手表、袖珍计算器、玩具、门铃等各种电子用品上作讯响器。如果配上各种传感元件，还可做成开水沸点报讯、煤气检测报警等各种温度、湿度、嗅敏报警器。在工业自动控制设备或仪表中，还可作限位、定位、危险等报讯装置。

2. 压电陶瓷蜂鸣片的检测

将万用表拨至直流 2.5V 挡，将待测压电蜂鸣片平放于木制桌面上，带压电陶瓷片的一面朝上。然后将万用表的一只表笔横放在蜂鸣片的下面，与金属片相接触，用另一表笔在压电蜂鸣片的陶瓷片上轻轻触、离。仔细观察，万用表指针应随表笔的触、离而摆动，摆动幅度越大，则说明压电蜂鸣片的性能越好，灵敏度越高；若指针不动，则说明被测蜂鸣片已损坏。

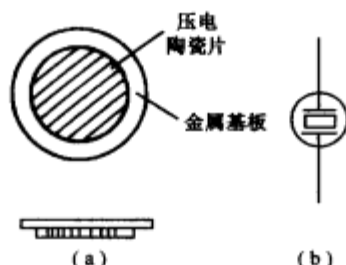


图 8-12 压电陶瓷蜂鸣片的外形结构和电路符号
(a) 外形结构；(b) 电路符号。

二、压电陶瓷蜂鸣器

1. 压电陶瓷蜂鸣器的特性

压电陶瓷蜂鸣器是一种一体化结构的电子讯响器。它主要由多谐振荡器和压电陶瓷蜂鸣片组成，并带有电感阻抗匹配器与微型共鸣箱，外部采用塑料壳封装。压电陶瓷蜂鸣器的工作原理方框图如图 8-13 所示。

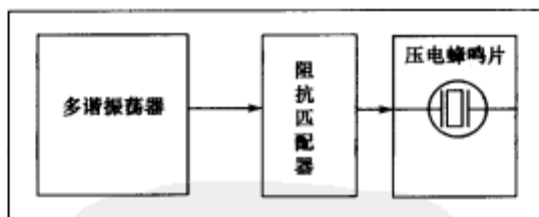


图 8-13 压电陶瓷蜂鸣器的原理方框图

其中，多谐振荡器是由晶体管或集成电路构成。接通电源后，多谐振荡器起振，输出音频信号（一般为 1.5kHz~2.5kHz），经阻抗匹配器推动压电蜂鸣片发声。国产压电蜂鸣器的工作电压一般为直流 6V~15V，有正负极两个引出线。

2. 压电陶瓷蜂鸣器的检测

将一稳压直流电源的输出电压调到 6V 左右，把正、负极用导线引出。当正极接压电陶瓷蜂鸣器的正极，负极接压电陶瓷蜂鸣器的负极时，若蜂鸣器发出悦耳的响声，说明器件工作正常，如果通电后蜂鸣器不发声，说明其内部有元件损坏或引线根部断线，应对内部振荡器和压电蜂鸣片进行检查修理。检测时应注意，不得使加在压电陶瓷蜂鸣器两端的电压超过规定的最高工作电压，以防止将压电陶瓷蜂鸣器烧坏。

第四节 传声器的识别与检测

传声器俗称话筒，其作用与扬声器相反，它是将声音信号转换为电信号的电声元件。

传声器的文字符号过去用“S”及“M”、“MIC”等表示,新国标规定为B或BM。传声器的电路符号如图8-14所示。

传声器的主要技术参数有灵敏度、频率响应、输出阻抗、指向性和固有噪声等。

灵敏度是指传声器在自由场中,接受一定的外部声压而输出的信号电压(输出端开路时)。灵敏度的单位通常用 mV/Pa (毫伏/帕) 或 dB ($0\text{dB}=1000\text{mV/Pa}$)。一般动圈式传声器的灵敏度多在 $(0.6\sim 5)\text{mV/Pa}$ ($-64.4\text{dB}\sim -40\text{dB}$) 范围内。

频率响应一般是指传声器在自由场中灵敏度级和频率间的关系。频率响应好的传声器,其音质也好,但为适应某些需要,有的话筒在设计制造中有意压低或抬高某频段响应特性,如为提高语言清晰度,有的专用话筒将其低频响应压低等。普通传声器的频率响应多在 $100\text{Hz}\sim 1000\text{Hz}$,质量较优的为 $40\text{Hz}\sim 15000\text{Hz}$,更好的可达 $20\text{Hz}\sim 20000\text{Hz}$ 以上。

输出阻抗通常是在 1kHz 频率下测量的传声器输出阻抗。一般将输出阻抗小于 $2\text{k}\Omega$ 的称作低阻抗传声器,大于 $2\text{k}\Omega$ (大都在 $10\text{k}\Omega$ 以上) 的称为高阻抗传声器。低阻抗传声器的应用较广。

指向性是指传声器灵敏度随声波入射方向而变化的特性。传声器的指向性主要有3种:一是全向性。全向性传声器对来自四周的声波都有基本相同的灵敏度。二是单向性。单向性传声器的正面灵敏度明显高于背面。三是双向性,传声器前、后两面灵敏度一样,两侧灵敏度较低。

固有噪声是在没有外界声音、风流、振动及电磁场等干扰的环境下测得的传声器输出电压有效值。一般传声器的固有噪声都很小,为 μV 级电压。

下面介绍在家用电器中常用的驻极体传声器和动圈式传声器。

一、驻极体话筒

1. 驻极体话筒的特性

驻极体话筒具有体积小、结构简单、电声性能好、价格低的特点,广泛用于盒式录音机、无线话筒及声控等电路中。驻极体话筒由声电转换和阻抗变换两部分组成。它的内部结构如图8-15所示。



图8-15 驻极体话筒的结构

声电转换的关键元件是驻极体振动膜。它是一片极薄的塑料膜片,在其中一面蒸发上一层纯金薄膜。然后再经过高压电场驻极后,两面分别驻有异性电荷。膜片的蒸金面向外,与金属外壳相连通。膜片的另一面与金属极板之间用薄的绝缘衬圈隔离开。这样,蒸金膜与金属极板之间就形成一个电容。当驻极体膜片遇到声波振动时,引起电容两端

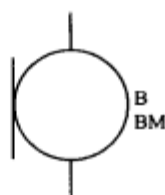


图8-14 传声器的电路符号

的电场发生变化,从而产生了随声波变化而变化的交变电压。驻极体膜片与金属极板之间的电容量比较小,一般为几十 pF。因而它的输出阻抗值很高,约几十兆欧以上。这样高的阻抗是不能直接与音频放大器相匹配的。所以在话筒内接入一只结型场效应晶体管来进行阻抗变换。场效应管的特点是输入阻抗极高、噪声系数低。普通场效应管有源极(S)、栅极(G)和漏极(D)。这里使用的是在内部源极和栅极间再复合一只二极管的专用场效应管,如图 8-16 所示。

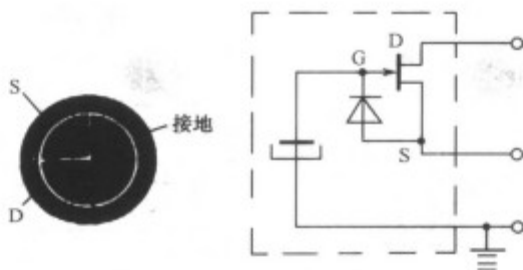


图 8-16 驻极体话筒专用场效应管

接二极管的目的是在场效应管受强信号冲击时起保护作用。场效应管的栅极接金属极板。这样,驻极体话筒的输出线便有三根。即源极 S,一般用蓝色塑线;漏极 D,一般用红色塑料线;连接金属外壳的编织屏蔽线。

2. 与电路的连接

驻极体话筒与电路的接法有两种:源极输出与漏极输出,如图 8-17 所示。

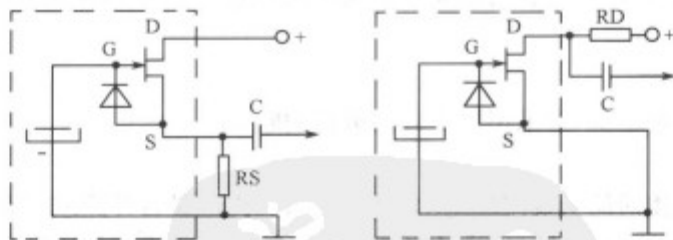


图 8-17 驻极体话筒与电路的接法

源极输出类似晶体三极管的射极输出。需用三根引出线。漏极 D 接电源正极。源极 S 与地之间接一电阻 R_S 来提供源极电压,信号由源极经电容 C 输出。编织线接地起屏蔽作用。源极输出的输出阻抗小于 $2k\Omega$,电路比较稳定,动态范围大。但输出信号比漏极输出小。

漏极输出类似晶体三极管的共发射极放大器。只需两根引出线。漏极 D 与电源正极间接一漏极电阻 R_D ,信号由漏极 D 经电容 C 输出。源极 S 与编织线一起接地。漏极输出有电压增益,因而话筒灵敏度比源极输出时要高,但电路动态范围略小。

R_S 和 R_D 的大小要根据电源电压大小来决定。一般可在 $2.2k\Omega \sim 5.1k\Omega$ 间选用。例如电源电压为 6V 时, R_S 为 $4.7k\Omega$, R_D 为 $2.2k\Omega$ 。

通常驻极体话筒有四种连接方式,如图 8-18 所示。对应的话筒引出端有三端式和二端式两种。

有些驻极体话筒内已设有偏置电阻,使用时不必另外再加偏压电阻了。采用此种接

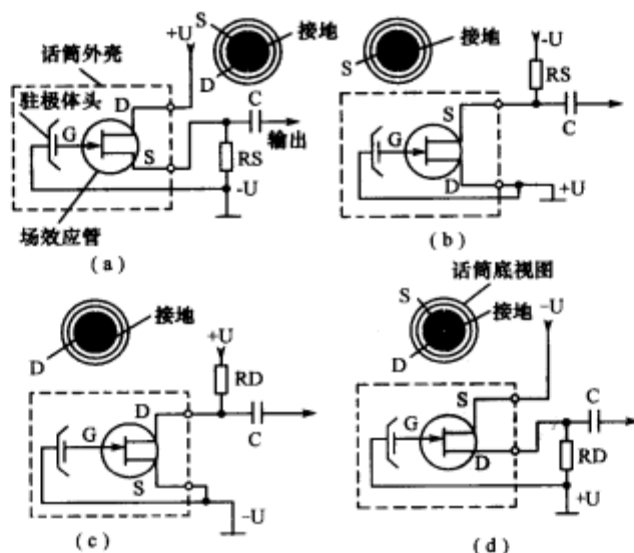


图 8-18 驻极体话筒的连接方式

(a) 负极接地, S 极输出; (b) 正极接地, S 极输出; (c) 负极接地, D 极输出; (d) 正极接地, D 极输出。

法的驻极体话筒,适用于高保真小信号放大场合,其缺点是在大信号下容易发生阻塞。另有少数驻极体话筒产品内部没有加装场效应管;两个输出接点可以任意接入电路,但最好把接外壳的一点接地,另一点接入由场效应管组成的高阻抗输入前置放大器。

应该指出的是,带场效应管的话筒不加偏压而直接加在音频放大器输入端是不能工作的。

3. 性能测量

驻极体话筒是否正常,可采用以下方法进行判断。

1) 电阻法

通过测量驻极体话筒引线间的电阻,可以判断其内部是否开路或短路。测量时,将万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡,红表笔接驻极体话筒的芯线或信号输出点,黑表笔接引线的金属外皮或话筒的金属外壳。一般所测阻值应在 $500\Omega \sim 3k\Omega$ 范围内。若所测阻值为无穷大,则说明话筒开路,若测得阻值接近零时,表明话筒有短路性故障。如果阻值比正常值小得多或大得多,都说明被测话筒性能变差或已经损坏。

2) 吹气法

将万用表置于 $R \times 100$ 挡,将红表笔接话筒的引出线的芯线,黑表笔接话筒引出线的屏蔽层,此时,万用表指针应有一阻值,然后正对着话筒吹一口气,仔细观察指针,应有较大幅度的摆动。万用表指针摆动的幅度越大,说明话筒的灵敏度越高,若指针摆动幅度很小,则说明话筒灵敏度很低,使用效果不佳。假如发现指针不动,可交换表笔位置再次吹气试验,若指针仍然不摆动,则说明话筒已经损坏。另外,如果在未吹气时,指针指示的阻值便出现漂移不定的现象,则说明话筒热稳定性很差,这样的话筒不宜继续使用。

对于有三个引出端的驻极体话筒,只要正确区分出三个引出线的极性,将黑表笔接电源端,红表笔接输出端,接地端悬空,采用上述方法仍可检测鉴定话筒的性能优劣。

下面举两个具体检测实例:

需要注意的是:对有些带引线插头的话筒,可直接在插头处进行测量。但要注意,有的话筒上装有一个开关(ON/OFF),测试时要将此开关拨到“ON”的位置,而不要使开关处在“OFF”的位置。否则,将无法进行正常测试,以至于造成误判。

3) 电压法

此法适用于检测装在收录机上的话筒。测试电路如图 8-19 所示。

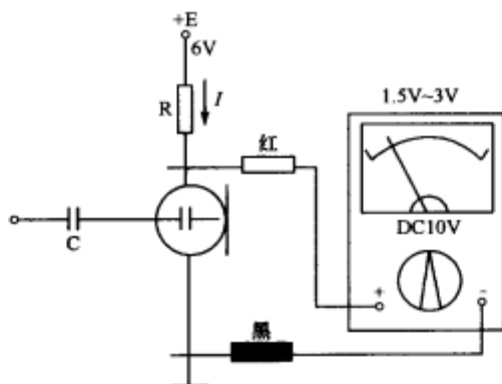


图 8-19 驻极体话筒电压测量法

在正常时,话筒的工作电压约是电源供电电压 $+E$ 的 $1/3 \sim 1/2$ 。例如电源供电电压为 6V,则话筒的工作电压约为 2V~3V。这是因为电源电压加到负载电阻 R 及话筒上时,要有数毫安的工作电流,此电流使电源电压 E 在 R 上产生一定的压降。检测时,将万用表置于直流 10V 挡,测量话筒上的工作电压。如果话筒上的工作电压已接近于电源电压,则说明话筒处于开路状态;如果测得话筒工作电压接近于 0V,则表明话筒处于短路状态,如果话筒工作电压高于或低于正常值,但不等于电源电压或也不为零,则说明内部场效应管性能变差。

4. 驻极体话筒常见故障与检修

1) 断路和短路

话筒开路性故障多是由内部引线折断或内部场效应管电极烧断损坏而引起;短路性故障多是话筒内部引出线的芯线与外层的金属编织线相碰短路或内部场效应管击穿所造成的。排除断路和短路故障时,可先将话筒外部引线剪掉,只留下一小段,然后按前述的检测方法用万用表测量话筒残留引线间的阻值,检查是否还有断路或短路现象。如故障排除,则说明被剪掉的引线有问题,用其他软线重新接在残留引线两端即可;如故障依旧,则应检查内部场效应管是否异常。

2) 灵敏度低

话筒内部的场效应管性能变差,或话筒本身受剧烈振动使膜片发生位移,都会导致灵敏度降低。对这种故障一般采用换新的方法予以解决。换新时,可使用同型号的话筒更换。

二、动圈式话筒

1. 动圈式话筒的结构

动圈式话筒的结构如图 8-20 所示,它由永久磁铁、音膜、输出变压器等部件组成。

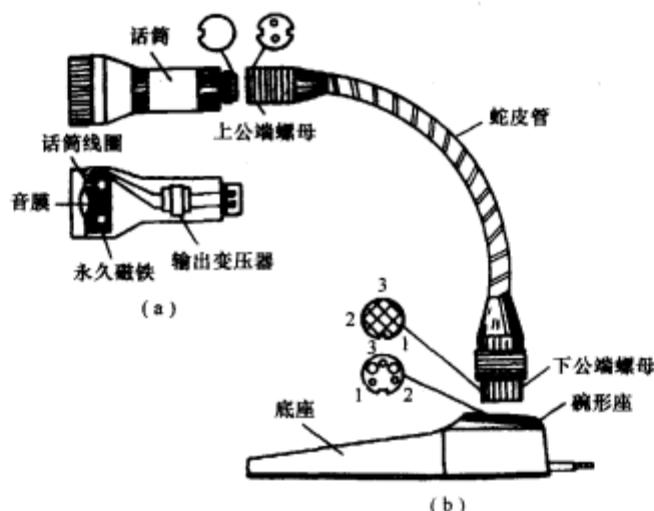


图 8-20 动圈式话筒的结构

音膜的音圈套在永久磁铁的圆形磁隙中,当音膜受声波的作用力而振动时,音圈则切割磁力线而在两端产生感应电压。由于话筒的音圈圈数很少,它的输出电压和输出阻抗都很低。为了提高它的灵敏度和满足与扩音机输入阻抗相匹配,在话筒中还装有一只输出变压器。变压器有自耦和互感两种,根据初、次级圈数比不同,其输出阻抗有高阻和低阻两种。话筒的输出阻抗在 600Ω 以下的为低阻话筒;输出阻抗在 10000Ω 以上的为高阻话筒。目前国产的高阻话筒,其输出阻抗都是 20000Ω 。有些话筒的输出变压器次级有两个抽头,它既有高阻输出,又有低阻输出,只要改变接头,就能改变其输出阻抗。

2. 动圈式话筒的检测和维修

动圈式话筒的常见故障是无声、音小、失真或时断时续。主要原因是音膜变形、音圈与磁铁相碰、音圈及输出变压器短路或断路、磁隙位置变动、磁力减小、插塞与插口接触不好或短接、话筒线短路或断路。

检查话筒是否正常,可利用万用表 $R \times 10$ 挡来测量话筒的电阻值,如果话筒的音圈和变压器的初级电路正常,在测量电阻时,话筒会发出清脆的“喀喀”的声音。

三、电容式话筒

电容式话筒其实是一个平板形的半可变电容器,它由一固定电极与一膜片组成。极板与膜片的距离通常是 $0.025\text{mm} \sim 0.05\text{mm}$,中间的介质是空气,膜片是由铝合金或不锈钢制成。电容式话筒的结构和接线如图 8-21 所示。使用时在两合金片间接 250V 左右的直流高压,并串入一个高阻值的电阻。平常,电容器呈充电状态。当声波传来时,膜片因受力而振动,使两片间的电容量发生变化,电路中充电的电流因电容量的变化而跟着变化。此变化的电流流过高阻值的电阻时,变成电压变化而输出。电容式话筒的输出阻抗很高,当话筒输出线较长时,极易拾拾外界噪声。因此话筒与电子管的连线越短越好。为了解决这个问题,常在话筒壳内装置一个放大器,使话筒输出线到放大器的连线缩至最短。

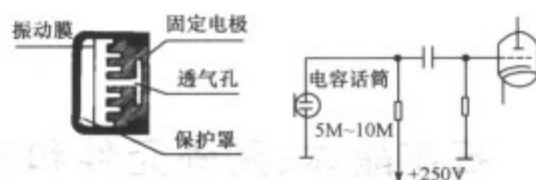


图 8-21 电容式话筒的结构与接线

电容式话筒的频率响应好,固有噪声电平低、失真小,在固定的录音室和实验室中作为标准仪器来校准其他电声器件是比较理想的。不足之处是必须用一极化直流的高压放大器装在话筒壳内,体积大,维修比较困难。



第九章 石英晶体、陶瓷元件和延迟线的识别与检测

石英晶体又称石英晶体谐振器,是一种用于稳定频率和选择频率的电子元件。由于制作工艺的提高和制作成本的降低,目前石英晶体已被广泛应用于军用电子设备、通信设备、广播电视发射与接收设备、数字仪表及日用钟表等。陶瓷元件和延迟线是以压电陶瓷为材料,利用其压电效应、声表面波传播的特性制成的,专用于滤波和延时的电子元件,广泛应用于电视机等家用电子产品中。本章主要介绍这几种器件的识别与检测。

第一节 石英晶体的识别与检测

石英晶体也叫石英谐振器,它是利用石英的压电特性按特殊切割方式制成的一种电谐振元件,被广泛用于石英钟表、通信设备、数字仪器仪表及家用电器中。此外,利用石英晶体还可制成压力、压差传感器。

一、石英晶体的特性

石英晶体是一种各向异性的结晶体,从一块晶体上按一定的方位角切下薄片称为晶片(可以是正方形、矩形或圆形等),然后在晶片的两个对应表面上涂敷银层并装上一对金属板,就构成石英晶体谐振器,如图 9-1 所示,一般用金属外壳密封,也有用玻璃壳封装的。

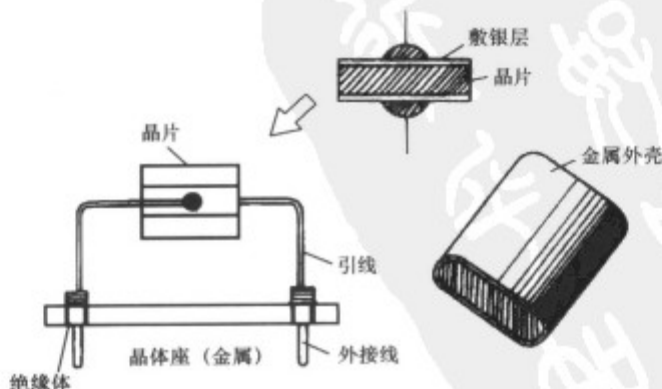


图 9-1 石英晶体谐振器的结构

石英晶片所以能做谐振器是基于它的“压电效应”,从物理学中已知,若在晶片的两个极板间加一电场,会使晶体产生机械变形;反之,若在极板间施加机械力,又会在相应的方向上产生电场,这种现象称为压电效应。如在极板间所加的是交变电压,就会产生机械变

形振动,同时机械变形振动又会产生交变电场。一般来说,这种机械振动的振幅是比较小的,但其振动频率则是很稳定的。但当外加交变电压的频率与晶片的固有频率(决定于晶片的尺寸)相等时,机械振动的幅度将急剧增加,这种现象称为“压电谐振”。

石英晶体谐振器的压电谐振现象可以用图 9-2 所示的等效电路来模拟。

等效电路中的 C_0 为切片与金属板构成的静电电容, L 和 C 分别模拟晶体的质量(代表惯性)和弹性,而晶片振动时,因摩擦而造成的损耗则用电阻 R 来等效。石英晶体的一个可贵的特点在于它具有很高的质量与弹性的比值(等效于 L/C),因而它的品质因数 Q 高达 10000~500000。

石英晶体具有串联和并联两种谐振现象,尽管构成振荡电路的形式多种多样,但其基本电路只有两类,即并联晶体振荡器和串联晶体振荡器,前者石英晶体是以并联谐振的形式出现,而后者则是以串联谐振的形式出现。

由石英谐振器组成的振荡器,其最大特点是频率稳定度极高,例如,10MHz 的振荡器,一日内的频率变化小于 0.1Hz~0.01Hz,甚至还小于 0.0001Hz。

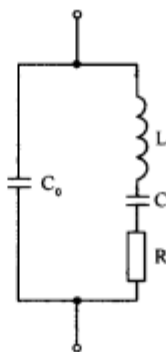


图 9-2 石英晶体的等效电路

二、石英晶体的种类、型号和参数

1. 石英晶体的种类

晶振元件按封装外形分有金属壳、玻壳、胶木壳和塑封等几种。按频率稳定度分,有普通型和高精度型。按用途分,有彩电用、手机用、手表用、电台用、录像机用、影碟机用、摄像机用等,其实这主要是工作频率及体积大小上的分类,别的性能差别不大,只要频率和体积符合要求,其中很多晶振元件是可以互换使用的。各种常见晶振元件外形如图 9-3 所示。

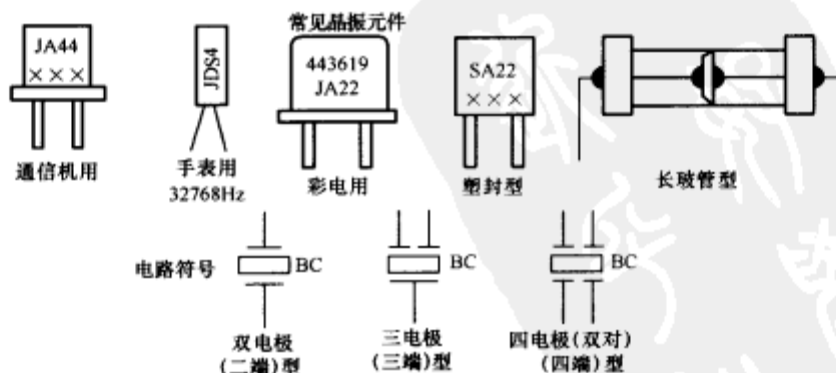


图 9-3 石英晶体的外形及符号

2. 石英晶体的型号

国产晶振元件的型号由三部分组成,其中第一部分表示外壳形状和材料,如 B 表示玻璃壳,J 表示金属壳,S 表示塑封型;第二部分表示晶片切型,常与切型符号的第一个字母相同,如:A 表示 AT 切型、B 表示 BT 切型等;第三部分表示主要性能及外形尺寸等,

一般用数字表示,也有最后再加英文字母的。如 JA5 为金属壳 AT 切型晶振元件,BA3 为玻壳 AT 切型晶振元件。从型号上无法知道晶振元件的主要电特性,需查产品手册或相关资料才行。

3. 石英晶体的参数

晶振元件的主要电参数是标称频率 f_0 、负载电容 C_L 、激励电平(功率)和温度频差等。

1) 标称频率

石英晶体成品上标有一个标称频率,当电路工作在这个标称频率时,频率稳定度最高。这个标称频率通常是在成品出厂前,在石英晶体上并接一定的负载电容条件下测定的。

2) 负载电容

所谓“负载电容”,是指从晶振的插脚两端向振荡电路的方向看进去的等效电容,即指与晶振插脚两端相关联的集成电路内部及外围的全部有效电容之总和。晶振在振荡电路中起振时等效为感性,负载电容与晶振的等效电感形成谐振,决定振荡器的振荡频率。负载电容值不同,振荡器的振荡频率也不一样,改变负载电容的大小,就可以改变振荡频率。因此,通过适度调整负载电容,一般可以将振荡器的振荡频率精确地调整到标准值。在晶振资料主要参数中提供的负载电容是一个测试条件,也是一个不容忽视的使用条件,忽略这个负载电容参数,会使振荡频率偏离标准值,偏离过大时会使振荡器起振困难造成停振。

晶振的负载电容有高、低两类之别。低者一般仅为十几皮法至几百皮法,而高者则为无穷大,两者相差悬殊,决不能混用,否则会使振荡频率偏离。两类不同负载电容的晶振使用方式绝然不同。低负载电容晶振都串联几十皮法的电容器;而高负载电容晶振不但不能串联电容器,还须并联数皮法小容量电容器(外电路的分布电容有时也能取代这个并联小电容)。如图 9-4 所示。

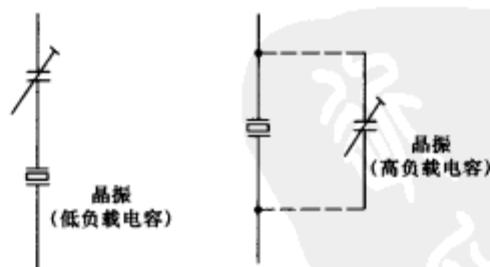


图 9-4 两类不同的晶振

每个晶振的外壳上除了清晰地标明标称频率外,还以型号及等级符号区分其他性能参数的差异。如同为标称频率 4.43MHz 的国产晶振,JA18A(应用于松下 M11 机芯彩色副载波电路),为低负载电容,仅 16pF,电路中串有电容。而 JA18B(应用于三洋 83P 机芯彩色副载波电路)则是高负载电容,为无穷大,电路中不能串有电容。选用时必须明辨等级符号 A 或 B。

3) 激励电平

激励电平(功率)是指晶振元件工作时会消耗的有效功率。激励电平应大小适中,过大会使电路频率稳定度变差,过小会使振荡幅度减小和不稳定,甚至不能起振。一般激励

电平不应大于额定值,但也不要小于额定值的 50%。

4) 温度频差

温度频差是指在工作温度范围内的工作频率相对于基准温度下工作频率的最大偏离值,该参数实际代表了晶振的频率温度特性。

4. 晶振和 VCO 组件的区别

晶振和 VCO(压控振荡器)组件是两类不同的器件。下面以手机的 13MHz 晶振和 13MHz VCO 组件为例进行说明。

13MHz 晶振是一个元件,本身不能产生振荡信号,必须配合外电路才能产生 13MHz 信号。而 13MHz VCO 组件将 13MHz 晶体、变容二极管、三极管、电阻和电容等构成的 13MHz 振荡电路封装在一个屏蔽盒内,组件本身就是一个完整的晶振振荡电路,可以直接输出 13MHz 时钟信号。



图 9-5 13MHz VCO 的结构

VCO 组件一般有 4 个端口:输出端、电源端、AFC 控制端及接地端。如图 9-5 所示。

三、石英晶体的检测

检测石英晶体通常采用以下几种方法。

1. 电阻法

用万用表 $R \times 10k$ 挡测量石英晶体两引脚之间的电阻值,应为无穷大。若实测电阻值不为无穷大甚至出现电阻为零的情况,则说明晶体内部存在漏电或短路性故障。

2. 简易测试器法

按照图 9-6 制作一个简易晶体测试器,可以较准确地测出晶体的好坏。

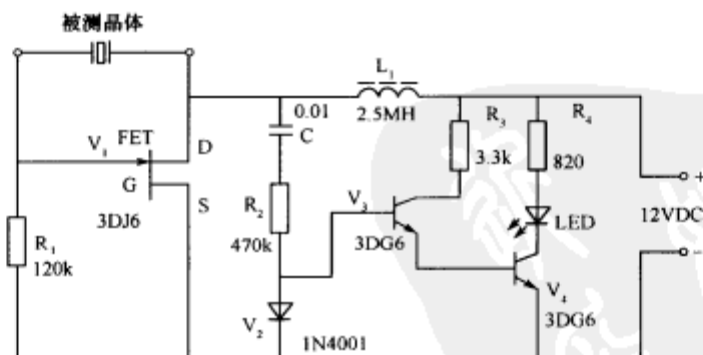


图 9-6 简易晶体测试电路

简易晶体测试器由 1 个 N 沟道结型场效应管、2 个普通 NPN 小功率晶体三极管、1 个发光二极管和一些阻容元件构成。图 9-6 中,场效应管 FET 与被测晶体等元件组成了一个振荡器,2 个 NPN 三极管接成复合检波放大器,以驱动发光二极管 LED 工作。当把被测晶体插入电路时,若晶体性能良好,振荡器便起振,振荡信号经电容 C 耦合至检波放大器的输入端,经放大后驱动发光二极管 LED 发光。若被测晶体已经损坏,则振荡器不能起振,LED 就不能发光。

本晶体检测器可检测任何频率的晶体,但最佳工作频率范围是 3MHz~10MHz。

所用元器件均无特殊要求。FET 可用国产 3DJ6 或 3DJ7,也可用进口的 2N3823, V_3

和 V_4 可选用国产 3DG6 或 3DG8NPN 高频小功率管, β 值为 100 左右。电阻可使用 1/4W 金属膜电阻。

3. 在路测压法

现以鉴别彩电遥控器晶体好坏为例, 介绍此法的具体操作。

将遥控器后盖打开, 找到晶体所在位置和电源负端(一般彩电遥控器均采用两节 1.5V 干电池串联供电); 把万用表置于直流 10V 电压挡, 黑表笔固定接在电源的负端。

先在不按遥控键的状态下, 用红表笔分别测出晶体两引脚的电压值, 正常情况下, 一只脚为 0V, 一只脚为 3V(供电电压)左右; 然后按下遥控器上的任一功能键, 再用红表笔分别测出晶体两引脚的电压值, 正常情况下, 两引脚电压均为 1.5V(供电电压的一半)左右。若所得数值与正常值差异较大, 则说明晶体工作不正常。

4. 电笔测试法

用一只试电笔, 将其刀头插入火线孔内, 用手捏住晶体的任一引脚, 将另一只引脚触碰试电笔顶端的金属部分, 若试电笔氖管发光, 一般说明晶体是好的, 否则, 说明晶体已损坏。

5. 测试电容法

若手头上有数字万用表, 可利用其电容挡测试晶体的静电电容。

表 9-1 是用电容表测得的部分晶振脚间电容值。

表 9-1 几种晶振实测电容值

电容值/pF 频率	封装	塑封或陶瓷封装	金属封装
400kHz~503kHz		300~900	
4.43MHz		40	3
4.40MHz		42	3.2
3.58MHz		56	3.7

若晶体的电容值在上述范围, 则质量良好, 否则, 说明晶体有问题。当然, 最有效的办法还是用替换法检查。

四、石英晶体的修理

晶体损坏后, 一般情况下应更新, 但有些晶体损坏后, 可以采用一些应急方法进行修复。例如, 彩电常用的 500kHz 晶体常出现内部漏电故障。若手头暂元新件可换, 可按下述方法予以应急修理。

先用锋利的小刀沿晶体外壳边缝将带有字母一侧的盖切开, 将电极支架和晶片从另一盖中取出, 然后用镊子夹住晶片从两电极中间取出。将晶片转动 90° 或直接倒置 180° 后, 再插入两电极之间, 使晶片漏电的微孔错离电极触点。用万用表 $R \times 10k$ 挡测量两电极之间的电阻值, 应为无穷大。最后重新安装恢复原位, 用 502 胶将边缝涂抹封固即可投入使用。

第二节 陶瓷元件的识别与检测

陶瓷元件是由压电陶瓷制成的谐振组件。它与晶振一样,也是利用压电效应工作的。目前的陶瓷元件大多采用锆钛酸铅陶瓷材料做成薄片,再在两面涂银层,焊上引线或夹上电极板,用塑料或者金属封装而成。

陶瓷元件的基本结构、工作原理、特性、等效电路及应用范围与晶振相似。由于陶瓷元件有些性能不及晶振,所以在要求较高(主要是频率精度和稳定度)的电路中尚不能采用陶瓷元件,必须使用晶振。除此之外,陶瓷元件几乎都可代替晶振,由于陶瓷元件价格低廉,所以近年来的应用非常广泛,例如在收音机的中放电路,电视机的中频伴音电路及各种家电遥控发射器中都可见到它们的“身影”。

陶瓷元件按功能和用途分类,可分成陶瓷滤波器、陶瓷谐振器和陶瓷陷波器等,按引出端子数分,有二端组件、三端组件、四端组件和多端组件等。陶瓷元件大都采用塑壳封装形式,少数陶瓷元件也用金属壳封装。常用陶瓷滤波元件如图 9-7 所示。

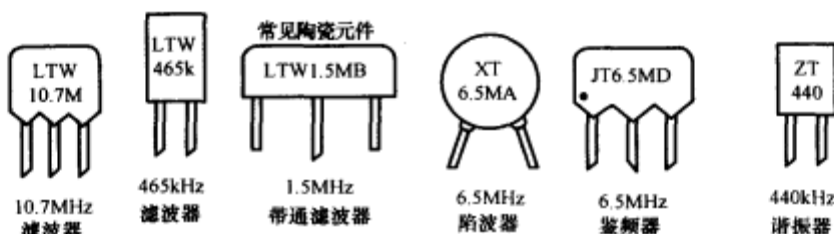


图 9-7 常用陶瓷滤波元件外形

国产陶瓷元件型号由 5 部分组成;其中第一部分表示组件的功能,如 L 表示滤波器, X 表示陷波器, J 表示鉴频器, Z 表示谐振器;第二部分用字母 T 表示材料为压电陶瓷;第三部分用字母 W 和下标数字表示外形尺寸。也有部分型号仅用 W 或 B 表示,无下标数字;第四部分用数字和字母 M 或 K 表示标称频率,如 700k 表示标称频率为 700kHz, 10.7M 则表示标称频率为 10.7MHz;第五部分用字母表示产品类别或系列,如 LTW6.5M 表示中心频率为 6.5MHz 的陶瓷滤波器。

顺便指出,陶瓷蜂鸣片和压电陶瓷扬声器实际也是压电陶瓷谐振元件,只不过它们的主要功能是发出音频声响。

陶瓷元件的主要参数有标称频率、通带宽度、插入损耗、陷波深度、失真度、鉴频输出电压及谐振阻抗等。

下面分类介绍几种常用的陶瓷元件。

一、声表面波器件

声表面波器件是一种特殊的陶瓷元件,主要有声表面波滤波器和声表面波谐振器两大类,声表面波滤波器可用于各种通信及视听设备的射频和中频滤波电路中;声表面波谐振器可用于低功率 UHF 发射机的频率控制及超外差接收机的本振电路中。

1. 声表面波滤波器(SAWF)

1) 声表面波滤波器的特性

声表面波滤波器简称 SAWF,其结构如图 9-8 所示。

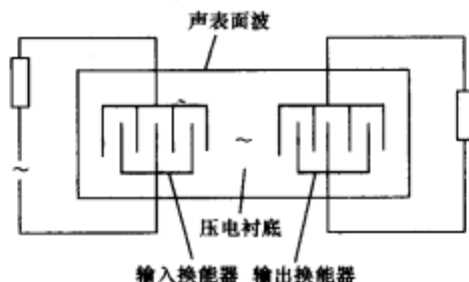


图 9-8 声表面波滤波器的结构

它是在一块具有压电效应的材料基片上蒸发一层金属膜,然后经光刻,在两端各形成一对梳子形电极构成的。当在输入端换能器的压电材料电极上输入交流信号后,由于压电效应,在电极压电材料表面将产生与外加输入电信号相同频率的机械振动波,该振动波沿着压电材料基片表面,以声音的速度传播。当此机械振动波传播到输出端的换能器时,由于逆压电效应,又通过输出换能器,将机械振动波转换为交流电信号,再由输出电极输出。

目前,几乎所有电视机的中频电路都采用了这种声表面波滤波器。它的应用不仅简化了电路结构,减少了分立元件,而且提高了整机参数的一致性和可靠性。彩电用 SAWF 的外形和常用电路符号如图 9-9 所示。

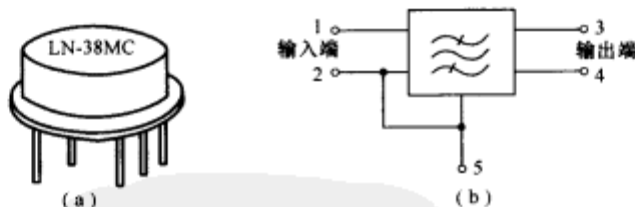


图 9-9 彩电用 SAWF 的外形和常用电路符号

(a) 外形; (b) 电路符号。

另外,声表面波滤波器也常用以下符号,如图 9-10 所示。

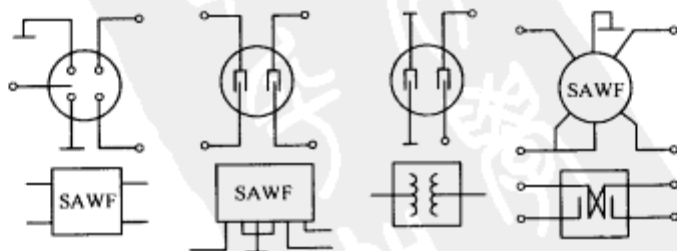


图 9-10 声表面波滤波器常用符号

2) 声表面波滤波器的检测

在电视机中,声表面波滤波器处于高频头和中放电路中间,使用时一旦损坏,声像均会受到影响。检测判断声表面波滤波器的好坏,通常采用下述方法进行。

(1)将 SAWF 从电路中取下单独测试。

以图 9-9(b)所示为例,将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,测量 SAWF 各引脚间的电阻值,对于性能良好的 SAWF,其两个输入端 1 和 2、两个输出端 3 和 4 以及两个输入端和两个输出端之间的电阻值均应为无穷大;除了 2 脚与 5 脚都与金属外壳相连,二者相通外,其他各脚与屏蔽极 5 脚之间的电阻值也应为无穷大。如果测量结果与上述规律不相符,则说明器件存在故障。

(2)结合电视机故障表现进行在路检测判断。

若 SAWF 输入端两引脚或输出两引脚短路或接地,电视机表现为无图无声但有杂波信号和“沙沙”声。用万用表直流电压挡测量输入端或输出端对地电压,若为零,即可断定输入端或输出端对地短路。

若 SAWF 内部接触不良,电视机表现为图像闪动频繁,时而出现白色水平干扰亮线或图像噪波增大、彩色时有时无甚至无彩色,行、场伴随有不同步现象;伴音亦表现异常,扬声器中发出“喀喀”声。检测时,用万用表直流电压挡测量输出端直流电压,会发现该点电压随“喀喀”声而变化不定。

若 SAWF 内部开路,电视机表现为无图无声,但有杂波信号和“沙沙”声。检测时,用万用表一表笔去触碰输入端和输出端,根据屏幕表现即可作出判断:当触碰输入脚时屏幕杂波图像和“沙沙”声无任何变化,而触碰输出脚时,图、声均有变化,则可断定 SAWF 有内部断路性故障。

3)声表面波滤波器的应急修理

(1)电击法修复漏电的 SAWF

对于极间漏电的 SAWF,有时采用电击法进行修复是很奏效的。具体方法是,将一只 $47\mu F/450V$ 电解电容在电源整流电路上充好电,然后对漏电的两引脚反复进行电击,当用万用表测量被击两端电阻为无穷大时,则证明电击成功。

(2)用 $1000pF$ 电容将 SAWF 输入、输出端直接连通

这是一种最常用的应急修复方法。将损坏的 SAWF 从电路中拆下不用,在原安装 SAWF 输入端和输出端的位置上跨接一只 $1000pF$ 的电容,即可恢复正常的图像和伴音。此法适合于电视台所用频道较少的地区,且频道使用为间隔分配的方式。在电视频道较多的地区使用此法应急修复 SAWF,易出现相邻频道的干扰现象。

另外,还可以用分立元件进行组装,但此法较麻烦,一般情况下很少采用。

2. 声表面波谐振器

声表面波谐振器主要有延迟线声表面波谐振器和谐振器型声表面波谐振器两种,目前常用的是谐振器型声表面波谐振器,故下面只介绍谐振器型声表面波谐振器的相关知识。

谐振器型声表面波谐振器是一种以声表面波谐振器作频控元件的振荡器。谐振器型声表面波谐振器又可分为单端对和双端对声表面波谐振器型振荡器等。

单端对声表面波振荡器具有与石英晶体振荡器相同的等效电路,因此,由单端对谐振器构成的声表面波谐振器工作原理与石英晶体振荡器相似。而双端对声表面波谐振器构成振荡器时,是把双端对声表面波谐振器等效为一个四端网络,与放大器进行闭环连接构成一种反馈型的振荡电路。当满足振幅条件和相位条件时产生振荡,采用双端对声表面

波谐振器作频率控制元件构成振荡器时,一定要清楚所使用的双端对声表面波谐振器是同相位型的还是反相位型的。

声表面波谐振器在电路图中的符号与石英晶体振荡器一样,只是在旁边加注“SAW”字样,以视区别。

二、陶瓷滤波器和陶瓷陷波器

1. 陶瓷滤波器和陶瓷陷波器的特性

陶瓷滤波器是用钛酸铅、锆酸铅等材料制成的。它具有机电耦合系数大、温度系数小、稳定性好、机械 Q 值很高等特点。它实质上是利用陶瓷材料的压电效应将电信号转换为机械振动,在输出端再将机械振动转化为电信号输出。由于机械振动对频率响应很敏锐,故它的 Q 值很高。

陶瓷滤波器有二极型和三极型两种类型,其外形、电路符号如图 9-11 所示。

陶瓷陷波器也有二端和三端两种规格,外形、电路符号和陶瓷滤波器十分相似,电路符号如图 9-12 所示。

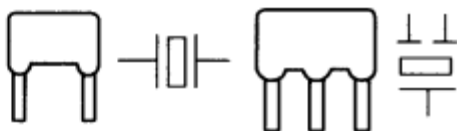


图 9-11 陶瓷滤波器
外形和电路符号

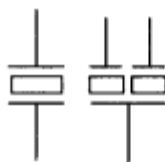


图 9-12 陶瓷陷
波器电路符号

目前,陶瓷滤波器和陶瓷陷波器已被广泛用于电视机电路中。它的应用,不但使电视机省掉了许多可调电感元件,简化了调整程序,而且也提高了整机的可靠性。电视机中所使用的主要有三种:6.5MHz 带通滤波器,6.5MHz 陷波器和 4.43MHz 陷波器。

2. 陶瓷滤波器和陶瓷陷波器的检测

将陶瓷滤波器或陶瓷陷波器从电路板上焊下,用万用表 $R \times 10k$ 挡进行测量,无论是三端器件还是二端器件,其引脚间的电阻值均应为无穷大。如果测出某两引脚间阻值不为无穷大甚至为零,则说明被测器件内部电极间有漏电或短路性故障,注意,对于开路性故障,例如内部引线断裂或电极镀银层脱落,用万用表电阻挡是无法检测的,需用替代法进行试验判断。

三、陶瓷鉴频器

部分彩电的音频电路,采用了 6.5MHz 陶瓷鉴频器(其作用相当于伴音中频变压器),它是一个高 Q 的 LC 并联回路,用于对音频信号的鉴频,取出伴音信号。

当伴音鉴频器损坏后,可用 6.5M 陶瓷滤波器代替,方法是:拆下陶瓷鉴频器,将陶瓷滤波器装上,在陶瓷滤波器的输入和输出端接一个数百皮法的瓷片电容即可。

第三节 超声延迟线的识别与检测

超声延迟线是以压电陶瓷作为换能器,玻璃作为介质,并利用超声波在玻璃介质中传

播速度变换的特点制成的器件,下面主要介绍在彩色电视机中应用较为广泛的亮度延迟线和色度延迟线。

一、亮度延迟线

1. 亮度延迟线的特性

亮度延迟线也称 Y 延迟线,是彩色电视机中的专用器件。

根据彩电原理可知,现行的彩色技术采用所谓大面积“着色”的原理。一幅完整的彩色图像,是由亮度信号形成的黑白图像,再用色度信号大面积“着色”而成。在彩色电视机电路里,亮度信号和色度信号是分别通过不同的通道进行传播和处理的。传送亮度信号的亮度通道频带宽,传输速度快,而传送色度信号的色度通道的频带较窄,传输速度比亮度信号相对较慢。由于色差信号要在基色矩阵中与亮度信号相混合,此时色度信号和亮度信号之间的时差便造成两者不能同时到达显像管,因而出现亮、色错位拖尾现象,即在图像的右侧发生镶边性重影。

为了进行延时补偿,使色度信号和亮度信号同时到达显像管,避免彩色镶边的图像出现,在彩色电视机电路的亮度通道中接入了一个亮度延迟线。亮度延迟线的外形和电路符号如图 9-13 所示。

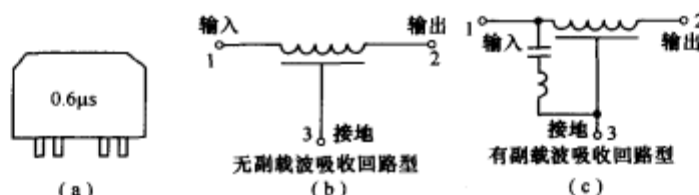


图 9-13 亮度延迟线的外形和电路符号

(a)外形; (b)电路符号。

2. 亮度延迟线的选用

目前,彩色电视机的型号、品种很多。由于采用的电路形式不同,各种机型所使用的亮度延迟线也就不尽相同。因此在选用时,应着重注意以下两个问题。

(1)根据主要电参数选用。

亮度延迟线的主要电参数有延迟时间、特性阻抗、副载波吸收回路衰减量等。

首先,由于亮度延迟线主要是为了均衡亮、色信号的延时差,所以延迟时间是必须优先考虑的重要参数。若延迟时间选择不当,会造成彩色镶边现象。目前市场上常见延迟线的延迟时间有 $0.33\mu s$ 、 $0.4\mu s$ 、 $0.5\mu s$ 、 $0.6\mu s$ 、 $0.78\mu s$ 等不同规格,选用时要根据需要进行正确区分。

其次,由于各机型中亮度延迟线外接电路的匹配电阻不同,亮度延迟线的特性阻抗将随着外接电路匹配电阻的不同而发生变化,若选择有误,将引起传输能量的很大损失,甚至引起很大的反射杂波信号,产生对图像信号的干扰。常见的亮度延迟线的特性阻抗有 $1.0k\Omega$ 、 $1.2k\Omega$ 、 $1.5k\Omega$ 、 $1.6k\Omega$ 、 $1.8k\Omega$ 等不同规格。

另外,因为亮度延迟线在结构上有两种类型,一种是不带副载波吸收回路型,另一种是内部带有副载波吸收回路型,所以,还应根据副载波吸收回路的具体电路来选择使用亮度延迟线。不同彩电机型的副载波吸收回路的设置是不同的。若整机电路中没有设置单

独的副载波吸收回路,则必须选用带有吸收回路的亮度延迟线,否则副载波信号会使图像产生网纹干扰。对于带有副载波吸收回路的产品,一般在出厂时已将陷波点调整好,上机使用时,不需要重新调节,更不能把磁芯旋入线圈内部,以免使亮度延迟线的其他主要参数受到影响。

(2)根据体积和安装尺寸选择亮度延迟线。

亮度延迟线的体积有大有小,因各机型不同而各有差异,其安装方式又分为卧式和立式两种类型。所以在选择、使用和代换亮度延迟线时要根据整机的结构设计以及被代换件的原安装位置来适当地进行选择。

3. 亮度延迟线的检测

测试电路如图 9-14 所示。

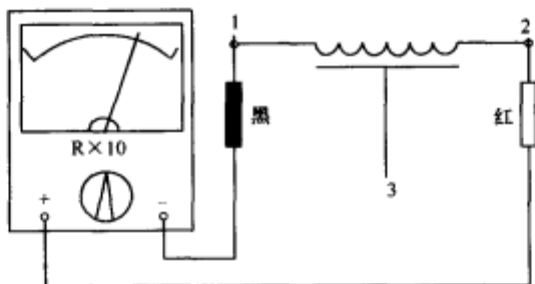


图 9-14 测试亮度延迟线

将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,用任一表笔接输入端(1脚),另一表笔接输出端(2脚),此时若万用表的电阻读数为 $30\Omega \sim 40\Omega$,即为正常值。如果测出的电阻值为无穷大,则说明内部已经开路。如果阻值大于正常值,则表明内部引脚有接触不良的故障;若阻值小于正常值较多,甚至为零,则表明内部线圈有短路之处。

然后,再将其中的一只表笔接公共地端(3脚),用另一表笔去依次接触输入端(1脚)和输出端(2脚),若两次测得的阻值均为无穷大,则说明器件正常。如果测出电阻值,甚至阻值为零,则说明输入、输出端与公共地端有漏电故障,或者已经短路。

二、色度延迟线

1. 色度延迟线的特性

色度延迟线也称一行延迟线或超声延迟线,也是彩色电视机中的专用器件。

在 PAL 制彩色电视机中,为了把色度信号分离为两个已调色差信号 F_u 和 $\pm F_v$,再分别对 F_u 和 $\pm F_v$ 进行信号分离,检出色差信号(B-Y)和(R-Y),设置了梳状滤波器(也称延时解调器)。如图 9-15 所示。

梳状滤波器由色度延迟线、加法器和减法器组成。这里,色度延迟线是个关键器件。它能将中心频率为 4.43361875MHz ,带宽为 2MHz 左右的色度信号延迟 $63.943\mu\text{s}$,即近似一行的时间,然后与直通信号在加法器和减法器中相加、减,分离出 F_u 和 $\pm F_v$ 两个分量。为了保证 F_u 和 $\pm F_v$ 信号的正确分离,在延时信号和



图 9-15 梳状滤波器原理框图

直通信号电路中,加入了电感、电容、电阻和电位器等元件,用以补偿色度信号通过色度延迟线时所产生的损耗,并保证直通信号和延时信号的幅度相等,相位一致,而色度延迟线的精度直接影响 F_u 和 $\pm F_v$ 两个分量的分离效果。

彩色电视机大多采用以玻璃为延时介质的色散型延迟线。图 9-16 是色度延迟线的电路符号和结构示意图。

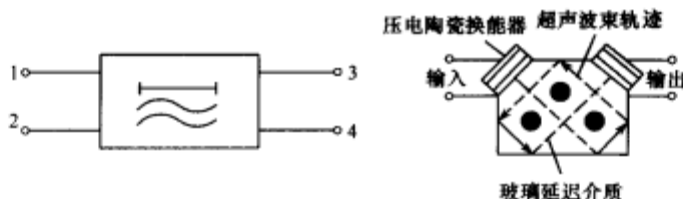


图 9-16 色度延迟线的电路符号和结构

(a)电路符号; (b)结构。

它的输入端是一种用压电陶瓷材料制成的换能器,先使信号转换成机械振动,在玻璃延迟介质体内形成具有指向性的超声波束,然后通过另一同类型的换能器,再转换成电信号输出。输入和输出两个换能器承担着“电信号—超声信号—电信号”的两次能量转变,并决定延迟线的工作频率、频率宽度、能量衰减、阻抗值的大小以及超声波的振动模式等,超声波在玻璃介质中的传播速度为 $2.7 \times 10^3 \text{ m/s}$,要延迟 $64 \mu\text{s}$ 的时间需要玻璃棒长 $172\text{mm} \sim 6461\text{mm}$,很显然,这样长的玻璃棒使用起来极为不便。为了缩小体积,色度延迟线做成 5 次、7 次或 8 次反射式,从而不仅使器件的体积小、用材省,而且校正延迟时间方便,有利于批量生产。

2. 色度延迟线的检测

1) 单独检测

图 9-17 是色度延迟线的外形及引脚排列倒视图。

检测时,将万用表置于 $R \times 10\text{k}$ 挡,测量各引脚之间的电阻值。正常时,各引脚间的电阻值都应为无穷大。若测试中发现某对引脚间电阻值不是无穷大或者为零,则说明该对引脚间有漏电或短路性故障,这样的色度延迟线是不能使用的。对于内部引脚断路性故障,用测量电阻法是不能进行鉴别的,但可根据彩色电视机的故障表现进行判断。

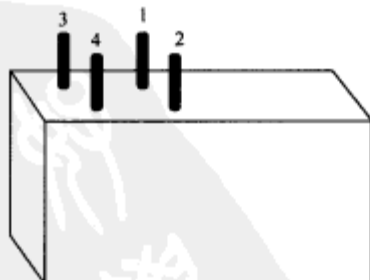


图 9-17 色度延迟线的外形及引脚排列倒视图

2) 结合彩色电视机故障现象检测

若色度延迟线的性能不良时,彩色电视机会出现彩色不同步和严重的“百叶窗干扰”现象,即所谓的“爬行”故障。由于色度延迟线性能不良所引起的故障,最终总是表现在彩色电视机的图像彩色质量上,所以根据电视机屏幕上彩色质量的变化来判断色度延迟线的性能好坏是非常实用的方法。

若内部断极开路,会造成延时信号消失,只剩下直通过信号,使 F_u 、 F_v 信号不能彻底分离而产生串耦。在屏幕上则出现大面积的较粗的似百叶窗状的明暗相间的水平条纹,并

且慢慢地向上方爬行,此时色调基本不失真。

若极间漏电或短路,会引起延时信号丢失,造成串色和爬行现象。有时还会使彩色图像产生严重失真。对于色度延迟线的漏电或短路性故障,只要用万用表的电阻挡进行单独测量是很容易鉴别的。

色度延迟线损坏后,一般是难以修复的,只能予以更换。更换时,原则上要求采用同规格、同型号的上机安装。若没有同型号、同规格的可用,也可考虑用同类型的其他色度延迟线进行代换。但要注意选择相位延时时间、中心频率等重要参数相同的器件。



第十章 开关、接插件和继电器的识别与检测

开关和接插件的作用是断开、接通或转换电路;继电器是自动控制电路中常用的一种器件,它是用较小的电流来控制较大电流的一种自动控制开关,在电路中起着自动操作、自动调节和安全保护的作用。开关、接插件和继电器的种类和规格很多,本章主要介绍识别和检测方面的内容。

第一节 开关器件的识别与检测

开关器件的作用是断开、接通或转换电路,它们的种类及规格非常多,应用十分广泛。下面介绍在电子设备中常用的机械开关、薄膜开关、接近开关和光电开关。

一、机械开关

1. 机械开关的特性

机械开关的文字符号过去用“K”(按钮开关也有用“SB”)表示,按新标准规定要用“S”或“SX”表示。另外,对于机械开关,还经常提到开关的“极”(也称为“刀”)、“位”(也称为“掷”)。开关的“极”、“刀”相当于开关的活动触点(触头、触刀)、“位”、“掷”相当于开关的静止触点(接点)。当按动或拨动开关时,活动触点就与静止触点接通(或断开),从而起到接通或断开电路的作用。

2. 机械开关的主要技术参数

(1) 最大额定电压

最大额定电压是指在正常工作状态下开关能容许施加的最大电压。若是交流电源开关,通常用交流电压作此参数。

(2) 最大额定电流

最大额定电流是指在正常工作状态下开关所容许通过的最大电流。若电压标注为交流(AC),则电流也指交流。

(3) 接触电阻

开关接通时,“接触对”(两触点)导体间的电阻值叫做接触电阻。要求该值越小越好,一般开关多在 $20\text{m}\Omega$ 以下,某些开关及使用久的开关则在 $0.1\Omega\sim 0.8\Omega$ 。

(4) 绝缘电阻

指定的不相接触的开关导体之间的电阻称为绝缘电阻。此值越大越好,一般开关多在 $100\text{M}\Omega$ 以上。

(5) 耐压

耐压也叫抗电强度,其含义是指定的不相接触的开关导体之间所能承受的电压。一

般开关至少大于 100V;电源(市电)开关要求大于 500V(交流,50Hz)。

(6) 寿命

寿命是指开关在正常条件下能工作的有效时间(使用次数)。通常为 5000 次~10000 次,要求较高的开关为 5×10^4 次~ 5×10^5 次。

一般情况下,在选用及更换开关时,除了型号或外形等需考虑外,参数方面只要注意额定电压、额定电流和接触电阻三项就可以了。

3. 常见机械开关及其检测

1) 拨动开关

拨动开关是一种比较简易的开关,其结构如图 10-1 所示。

拨动开关是由塑料制成的开关柄、内部金属触点以及金属外壳等构成。在家用电器中,拨动开关常作为电源转换开关等。

拨动开关的检测方法是:将万用表置于 $R \times 1$ 挡,测量各引脚的通断情况。当开关柄拨向左面时,引脚的 1、2 脚相通,2、3 脚断开;当开关柄拨向右面时,两排引脚的 2、3 脚相通,1、2 脚断开。再将万用表拨至 $R \times 10k$ 挡,测量各引脚与铁制外壳之间的电阻值,都应该为无穷大。

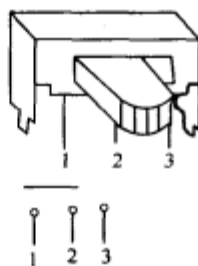


图 10-1 拨动开关的外形

2) 直键开关

直键开关常在收录机中作波段开关、声道转换、响度控制及电源开关使用。直键开关的外形如图 10-2 所示。

直键开关的外壳为塑料结构,内部每组触点的接触方式为单刀双掷式,即每组开关有三个触点,中间 2 为刀位,两头 1 和 3 两个触点为掷位。直键开关又分为自复位式和自锁式两种。自复位式开关在工作时须压下开关柄,当不压开关柄时,因开关上的弹簧作用而能自动复位。自锁式开关与上述开关相同,只是设置了锁簧,当开关压下后,开关柄被锁簧卡住,实现了自锁。要想开关复位,必须再次压下开关柄。这种直键开关也可根据电路要求做成多只联动开关。当按下其中一只开关时,其余开关均复位。

直键开关的两排引脚是互相独立的,且对应排列,各自的每三个引脚为一组。测量时,可选用万用表 $R \times 1$ 挡,检查通断情况是否正常。当开关未按下时,刀位 2 应与掷位 1 接通并与掷位 3 断开;当开关按下时,刀位 2 应与掷位 3 接通并与掷位 1 断开。按此规律可将各组通断情况测出。

3) 杠杆式开关

杠杆式开关是利用杠杆原理制造的,其外形结构如图 10-3 所示。

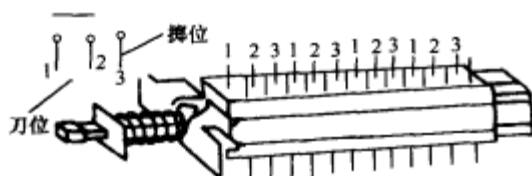


图 10-2 直键开关的外形

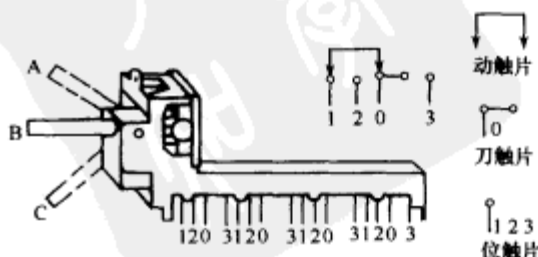


图 10-3 杠杆式开关的外形

操作柄与开关滑动杆是采用杠杆轴式连接,扳动开关柄,就会带动开关滑动杆运动,从而改变内部接点位置。开关内每组接点方式有单刀双掷、单刀三掷和单刀四掷等数种。这种开关多用于录音机中的声道转换、等响度控制、磁带选择、收录转换和波段开关等。

图 10-3 所示的为三掷式杠杆式开关,每四个引脚为一组,其中 0 为刀位,1、2、3 为掷位,检测时,可使用万用表 $R \times 1$ 挡进行测量。当控制杠杆拨到最上端 A 的位置时,刀位 0 只与掷位 1 接通,与掷位 2、3 断开;当杠杆拨到 B 的位置时,刀位 0 只与掷位 2 接通,与掷位 1、3 断开;当杠杆拨到 C 的位置时,刀位 0 只与掷位 3 接通,与掷位 1、2 断开。依此规律可将各组引脚通断情况测出,以判断有无故障。

4) 其他机械开关

钮子开关:通常为单极双位或双极双位开关,主要用作电源电路和状态转换开关。国产钮子开关的型号是 $KN \times \times$ 或 $KNX \times \times$,其中后者为小型钮子开关。

直键开关:又称琴键开关,是采用积木组合式结构,能用作多刀多位开关的转换开关,直键开关大多是多挡组合式,也有单挡的,单挡开关通常用作电源开关。直键开关除了开关挡位及极位数有所不同外,还有锁紧形式和开关组成形式之分。锁紧形式可分为自锁、互锁和无锁。锁定是指按下开关键后位置就固定,复位需另外按复位键和其他键。开关组成形式是指带指示灯、带电源开关和不带灯(或不带电源开关)。

按键开关:通过按动键帽,使开关接触或断开,从而达到电路切换的目的。主要应用于电信设备、电话机、自控设备、计算机及各种家电中。家电中按键有两种:一是通断电源的开关,如彩电按钮开关,这种开关按一下就接通自锁,再按一下就断开复位,另外一种是一种是轻触式按键开关,主要应用于小信号及低压电路转换,一般不可用于高压和大功率电路中。

机械开关还有很多,这里不再一一分析。

二、薄膜开关

1. 薄膜开关的特性

薄膜开关又称平面开关、轻触键盘,是近年来国际流行的一种集装饰与功能为一体的新型元件,也是继导电橡胶、微动开关之后的新一代电子开关产品。薄膜开关具有良好的密封性能,能有效地防尘、防水、防有害气体及防油污浸渍。它传统的机械式开关相比,具有结构简单、外形美观、耐环境性优良、便于高密度化等特点,从而大大提高了产品的可靠性和寿命(寿命达 100 万次以上)。各种大小按键可混合设计,键盘厚度只有 1mm 左右。装配简便,被广泛用于各种微电脑控制的设备中。如:电子测量仪器、仪表、医疗设备、机床、程控装置、传真机、复印机、家用电器、电话机、电子衡器、电子玩具等产品。

薄膜开关具有体积小、重量轻、密封性好、抗划痕性能强、易于清洗、外观精美等突出优点,而且寿命也长,实际使用寿命能超过 100 万次。

薄膜开关分为柔性薄膜开关和硬性薄膜开关两种类型。柔性薄膜开关的结构如图 10-4 所示。

柔性薄膜开关是将 $5\mu\text{m}$ 厚的导电银浆印刷在柔性聚脂薄膜基片上而制成的。其特点是柔软性较好,能承受 50 万次弯折试验而不损坏,总厚度仅 $1.2\text{mm} \sim 1.5\text{mm}$,安装时需加衬板。背面有强力压敏胶层,揭掉防粘纸后,即可贴在仪器面板上。引出线为薄膜导

电带,并配以专用插座连接,经面板上的进线口引入到仪器的内部。硬性薄膜开关与柔性薄膜开关的不同是其开关电路直接印在双面印制电路板上,印制板上还可直接安装 LED 数码管、指示灯等器件。

2. 薄膜开关的检测

现以图 10-5 所示的薄膜开关为例介绍检测方法。

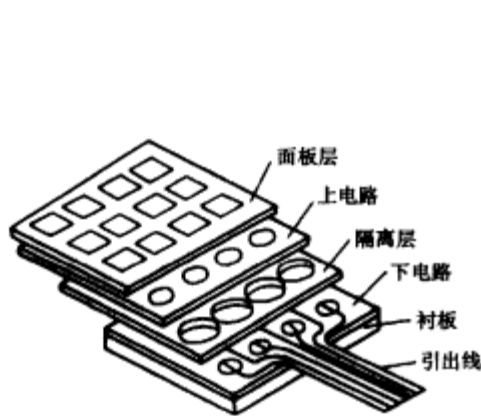


图 10-4 薄膜开关的外形

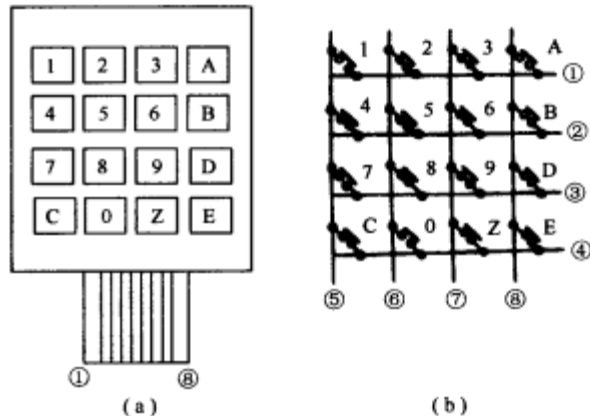


图 10-5 薄膜开关的检测

(a)外形; (b)内部电路。

薄膜开关采用 16 键标准键盘,为矩阵排列方式,仅 8 根引出线。检测时,将万用表置于 $R \times 10$ 挡,两支表笔分别接①和⑤,当用手指按下数字键 1 时,电阻值应为零,说明①、⑤接通,当松开手指时,电阻值应为无穷大。对其他键的检查以此类推。

再将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,不按薄膜开关上任何一键,保持全部按键均处于抬起状态。先把一支表笔接在引出端①上,用另一支表笔依次去接触②~③;然后再把一支表笔接②,用另一支表笔依次接触③~⑧。以下参照此法依次进行,直到测完⑦、⑧端之间的绝缘情况。整个检测过程中,万用表指针都应停在无穷大位置不动。如果发现某对引出端之间的电阻不是无穷大,则说明该对引出线之间有漏电性故障。

三、接近开关

接近开关被广泛应用于自动控制系统中。在这类开关中,装有一种对接近它的物体有“感知”能力的元件——位移传感器。利用位移传感器对接近物体的敏感特性进行检测,达到控制开关通或断的目的,它的示意图如图 10-6 所示。

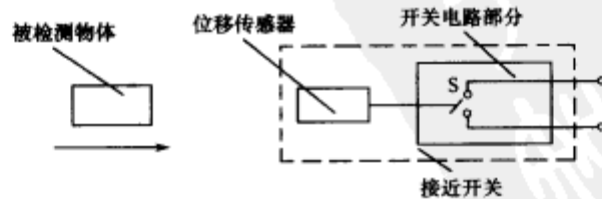


图 10-6 接近开关的示意图

当有物体移向接近开关,并接近到一定距离时,位移传感器有“感知”,开关就会动作。通常把这个距离叫“检出距离”。不同的接近开关检出距离也不同。例如检出距离为

2mm、10mm 等。有时被检测的物体是按一定的时间间隔,一个接一个地移向接近开关,又一个一个地离开,这样不断地重复。例如传送带上的被检测物或旋转齿轮上的齿,不同的接近开关,对检测对象的响应能力是不同的。这种响应特性被称为“响应频率”。例如响应频率为 600Hz、1kHz 等。在检测高速运行或高速旋转的对象时,应选用响应频率高的接近开关。

接近开关是有源器件,它需要接通电源才能工作。有的要求直流供电,有的要求交流供电,也有交直流两用的。由于接近开关使用的工作环境不同,其外形和外壳的材质也不同。一般有圆柱形和立方体形两种,如图 10-7 所示,外壳有金属的也有塑料的。

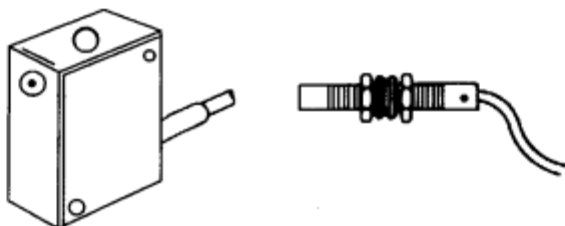


图 10-7 常见接近开关的外形

四、光电开关

1. 光电开关的特性

光电开关是一种由红外线发射管与接收管封装在一起构成的组件。目前,常见的光电开关有两种,一种为透射式,另一种为反射式。两者相比,透射式光电开关的灵敏度较高,但有时使用不如反射式光电开关方便。多数光电开关采用输入端与输出端相互隔离的结构,即发射管与接收管互相独立,保持电气绝缘。但也有少数产品采用非隔离方式,即发射管与接收管为共地。图 10-8 是常见的透射隔离式光电开关的外形及内部结构。

2. 光电开关的检测

1) 检测发射管

将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,测量光电开关发射管的正、反向电阻值,应具有单向导电特性。利用这种特性还可以很容易地将光电开关的输入端(发射管)和输出端(接收管)区分开。

2) 检测接收管

将万用表置于 $R \times 1k$ 挡,红表笔接触接收管的 E,黑表笔接触接收管的 C,此时所测得的电阻值为接收管的穿透电阻,此值越大,说明接收管的穿透电流越小,管子的稳定性越好。正常时,用万用表 $R \times 1k$ 挡测量,光电开关接收管的穿透电阻值多为无穷大。

3) 检测发射管与接收管之间的隔离性能

将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,测量发射管与接收管之间的绝缘电阻应为无穷大。否则,如果发射管与接收管之间测出电阻值,说明两者有漏电现象,这样的透射隔离式光电开关是不能使用的。

4) 检测灵敏度

测试时采用两只万用表,测试电路如图 10-9 所示。

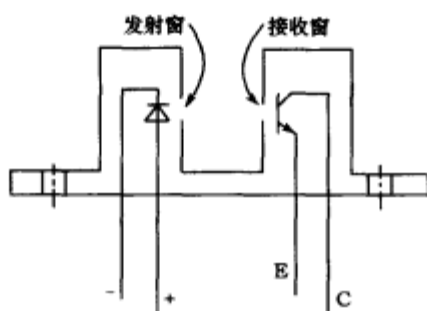


图 10-8 透射隔离式光电开关外形及内部结构

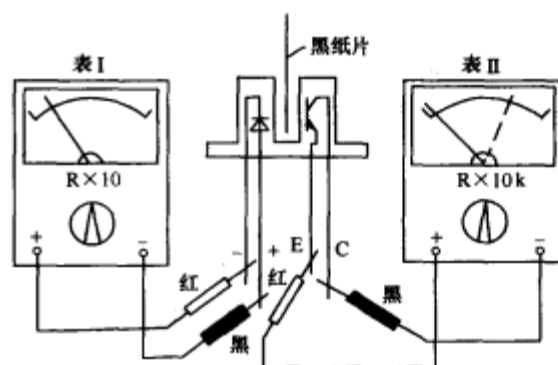


图 10-9 光电开关灵敏度测试电路

第一只万用表置于 $R \times 10$ 挡，红表笔接发射管负极，黑表笔接发射管正极。第二只万用表置于 $R \times 10k$ 挡，红表笔接接收管 E，黑表笔接接收管 C。将一黑纸片插在光电开关的发射窗与接收窗中间，用来遮挡发射管发出的红外线。测试时，上、下移动黑纸片，观察第二只万用表的指针应随着黑纸片的上、下移动有明显的摆动，摆动的幅度越大，说明光电开关的灵敏度越高。注意，为了防止外界光线对测试的影响，测试操作应在较暗处进行。

第二节 接插件的识别

插头插座是最常用的插接件，它主要用于话筒、耳机等电子产品中，常用插头插座的外形及电路符号如图 10-10 所示。

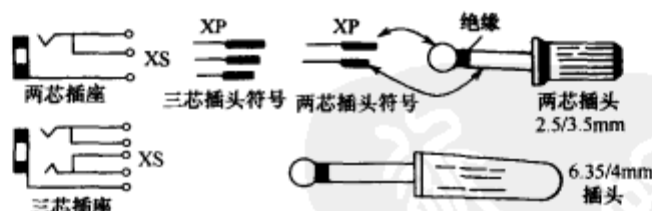


图 10-10 常用插头插座外形和符号

插头插座的文字符号分别用 XP 和 XS 表示，插头插座用得较多的是两芯插头座。立体声耳机常用三芯插头，其对应的插座也是三芯的。无论插头座大小及芯数如何，大都兼有开关功能，例如图 10-11 所示是收音机外接耳机电路，在插头没有插入插座时，插座的内簧片和外簧片接通，使扬声器两端与收音机输出两端相连，此时扬声器发声。当耳机插头插入插座时，外簧片被插头弹压，使之与内簧片脱离接触，这样，扬声器一端便和收音机输出端脱开，扬声器不发声，而耳机两端分别通过插头与收音机两输出端相连，耳机工作发声。

在一些体积小的或简单的袖珍收音机里，为了省去一个电源开关，常把耳机插座稍作改制，使它兼有电源开关的作用。图 10-12(a) 为单片收音机的部分电路图，它单独使用了一个电源开关 S。把一个标准插座改制一下，把定簧片用钳子撬开一些，使插座在插头

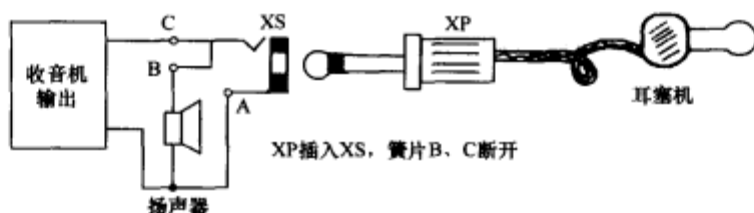


图 10-11 耳机电路

没有插入时,动、静簧片是分离的。插头插入后,动、静簧片才接触。改制后的插座及符号如图(b)所示,然后按图(c)接入电路,这样耳机插入电路后,动、静簧片接触,整机的电源被接通而工作,耳机发声。

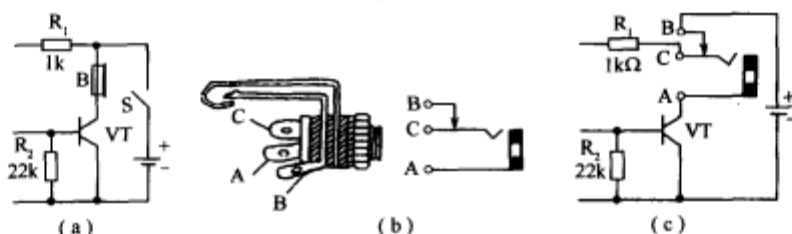


图 10-12 插头插座的使用

第三节 继电器的识别与检测

继电器是一种自动动作的电器。当给继电器输入电压、电流等电量或温度、压力等非电量并达到规定值时,继电器的触点便接通或分断所控制或保护的电路。继电器被广泛应用于电力拖动控制、电力系统保护以及各类遥控和通信系统中。继电器一般由输入感测机构和输出执行机构两部分组成。前者用于反映输入量的高低;后者用于接通或分断电路。

一、继电器的分类

1. 按工作原理或结构特征分

继电器按工作原理或结构特征分为以下几种。

1) 电磁继电器

电磁继电器是利用电磁铁控制工作电路的通断,进行远距离操纵或自动控制的电磁装置。主要有:

直流电磁继电器,输入电路中的控制电流为直流的电磁继电器。

交流电磁继电器,输入电路中的控制电流为交流的电磁继电器。

磁保持继电器,利用永久磁铁或具有很高剩磁特性的铁芯进行保持的继电器;也就是说,电磁继电器的衔铁在其线圈断电后仍能保持在线圈通电时的位置上的继电器。

2) 固体继电器

固体继电器是指电子元件履行其功能而无机械运动构件的继电器,也就是说,这是一种输入和输出隔离的继电器。

3) 温度继电器

当外界温度达到给定值时而动作的继电器称为温度继电器。

4) 舌簧继电器

利用密封在管内,具有触电簧片和衔铁磁路双重作用的舌簧的动作来开闭或转换线路的继电器称为舌簧继电器。主要有:

干簧继电器,舌簧管内的介质为真空、空气或某种惰性气体,即具有干式触点的舌簧继电器。

湿簧继电器,舌簧片和触点均密封在管内,并通过管底水银槽中水银的毛细作用,而使水银膜湿润触点的舌簧继电器。

5) 时间继电器

当加上或除去输入信号时,输出部分需延时到规定的时间才闭合或断开其被控线路的继电器。

2. 按继电器的负载分

继电器按触点负载可分为以下几种。

1) 微功率继电器

当触点开路电压为直流 28V 时,触点额定负载电流为 0.1A、0.2A 的继电器为微功率继电器。

2) 弱功率继电器

当触点开路电压为直流 28V 时,触点额定负载电流为 0.5A、1A 的继电器为弱功率继电器。

3) 中功率继电器

当触点开路电压为直流 28V 时,触点额定负载电流为 2A、5A 的继电器为中功率继电器。

4) 大功率继电器

当触点开路电压为直流 28V 时,触点额定负载电流为 10A、15A、20A、25A、40A……的继电器为大功率继电器。

3. 按继电器的防护特征分

继电器按防护特征分为以下几种。

1) 密封继电器

采用焊接或其他方法,将触点和线圈等密封在罩子内,与周围介质相隔离,是一种泄漏率较低的继电器。

2) 封闭式继电器

用罩壳将触点和线圈等密封(非密封)加以防护的继电器。

3) 敞开式继电器

不用防护罩来保护触点和线圈等的继电器。

二、普通电磁继电器

1. 普通电磁继电器的特性

电磁继电器是自动控制电路中常用的一种元件,实际上它是用较小电流控制较大电

流的一种自动开关,因此,广泛应用于电子设备中。

电磁继电器是在自动控制电路中广泛使用的一种元件。它实质上是用较小电流来控制较大电流的一种自动开关。根据供电的不同,电磁继电器主要分为交流继电器和直流继电器两大类。这两大类继电器又具有许多种不同规格。图 10-13 是普通电磁继电器的基本结构和外形。

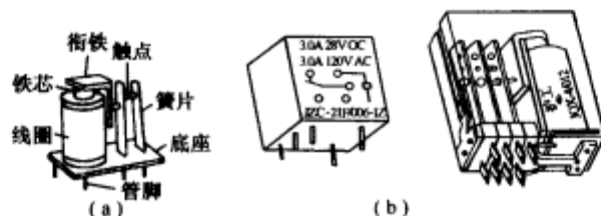


图 10-13 普通电磁继电器的基本结构和外形
(a)基本结构;(b)外形。

由结构图可见,电磁继电器是由铁芯、线圈、衔铁、触点以及底座等构成的。触点有动触点和静触点之分,在工作过程中能够动作的称为动触点,不能动作的称为静触点。电磁继电器的动作过程可用图 10-14 来描述。

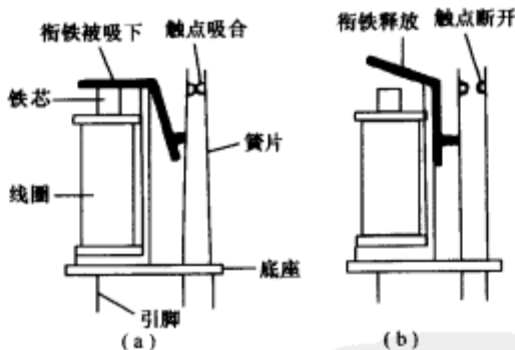


图 10-14 电磁继电器的动作原理
(a)吸合状态;(b)释放状态。

当线圈中通过电流时,线圈中间的铁芯被磁化,产生磁力,将衔铁吸下,衔铁通过杠杆的作用推动簧片动作,使触点闭合;当切断继电器线圈的电流时,铁芯失去磁力,衔铁在簧片的作用下恢复原位,触点断开。

2. 继电器的电路符号和触点形式

一般电磁继电器的线圈只有一个,但其带触点的簧片有时根据需要则设置为多组。在电路中,表示继电器时只画出它的线圈与控制电路的有关触点。线圈用长方框表示,长方框的旁边标有继电器的文字符号 K 或 KR。继电器的触点有两种表示方法:一种是把它们直接画在长方框一侧,这种表示法较为直观;另一种是按照电路连接的需要,把各个触点分别画到各自的控制电路中,通常在同一继电器的触点与线圈旁分别标注上相同的文字符号,并将触点组编上号码,以示区别。继电器的触点有三种基本形式。

1) 动合型(H 型)

线圈不通电时两触点是断开的,通电后,两个触点就闭合。以合字的拼音字头“H”表示。

2) 动断型(D 型)

线圈不通电时两触点是闭合的,通电后两个触点就断开。用断字的拼音字头“D”表示。

3) 转换型(Z 型)

这是触点组型。这种触点组共有三个触点,即中间是动触点,上下各一个静触点。线圈不通电时,动触点和其中一个静触点断开和另一个闭合,线圈通电后,动触点就移动,使原来断开的成闭合,原来闭合的成断开状态,达到转换的目的。这样的触点组称为转换触点。用“转”字的拼音字头“Z”表示。

电磁继电器的常用符号如图 10-15 所示。在电路中,触点的画法应按线圈不通电时的原始状态画出。

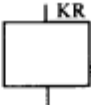
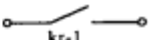
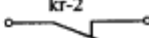
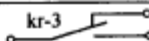
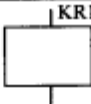


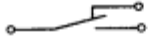


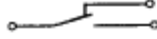
线圈符号	触点符号		
	 kr-1	动合触点(常开),称H型	
	 kr-2	动断触点(常闭),称D型	
	 kr-3	切换触点(转换),称Z型	
	 kr1-1	 kr1-2	 kr1-3
	 kr2-1	 kr2-2	

图 10-15 电磁继电器的电路符号

3. 普通电磁继电器的主要技术参数

各种继电器的参数在继电器生产厂的产品手册或产品说明书中有详尽的说明。在继电器的许多参数中,一般只需要弄清其中的主要电气参数就可以了。

1) 线圈电源和功率

它指继电器线圈使用的是直流还是交流电,以及线圈消耗的额定电功率。如 JZC-21F 型继电器,它的线圈电源为直流,线圈消耗的额定功率为 0.36W。

2) 额定工作电压或额定工作电流

这是指继电器正常工作时线圈需要的电压或电流值。一种型号的继电器的构造大体是相同的,为了使一种型号的继电器能适应不同的电路,它有多种额定工作电压或额定工作电流供选用,并用规格号加以区别。如型号为 JZC-21F/006-1Z 的继电器,其中 006 即为规格号,表示额定工作电压为 6V。如 JZC-21F/048-1Z 的继电器,其中 048 是规格号,表示额定工作电压为 48V。

3) 线圈电阻

它指线圈的电阻值。有时,手册中只给出某型号继电器的额定工作电压和线圈电阻,这时可根据欧姆定律求出额定工作电流。例如 JZC-21F/006-1Z 继电器的电阻为 100Ω ,额定工作电压为 6V,则额定工作电流 $I=U/R=6/100=60\text{mA}$ 。同样,根据线圈电阻和

额定工作电流也可以求出线圈的额定工作电压。

4)吸合电压或电流

它指继电器能够产生吸合动作的最小电压或电流。如果只给继电器的线圈加上吸合电压,这时的吸合动作是不可靠的。一般吸合电压为额定工作电压的 75% 左右,如 JZC-21F/009-1Z 的吸合电压为 6.75V。

5)释放电压或电流

继电器线圈两端的电压减小到一定数值时,继电器就从吸合状态转换到释放状态。释放电压或电流是指产生释放动作的最大电压或电流。释放电压比吸合电压小得多。例如 JQX-4/012 型的继电器,额定工作电压为 12V,吸合电压为 9V,释放电压为 2.2V。

6)接点负荷

它是指接点的负载能力。正像一个人能肩负的担子是有限度的,超过了限度就难以胜任一样。继电器的接点在切换时能承受的电压和电流值也有一定的数值,有时也称为接点容量。例如 JQX-10 型的继电器的接点负荷是 $28\text{V}(\text{DC}) \times 10\text{A}$ 或 $220\text{V}(\text{AC}) \times 5\text{A}$ 。它表示这种继电器的接点在工作时的电压和电流值不应超过该值,否则会影响甚至损坏接点。一般同一型号的继电器的接点负荷值都是相同的。

4. 普通电磁继电器的检测

1)判别交流或直流电磁继电器

电磁继电器分为交流与直流两种,在使用时必须加以区分。凡是交流继电器,在其铁芯顶端,都嵌有一个铜制的短路环,如图 10-16 所示。而直流电磁继电器则没有此铜环。另外,在交流继电器的线圈上常标有“AC”字样,而在直流继电器上则标有“DC”字样,依此也可将两者加以区别。

2)判别触点的数量和类别

只要仔细观察一下继电器的触点结构,即可知道该继电器有几对触点,例如,图10-17是一种有两组转换触点(2Z)的继电器。簧片 1、2、3 组成一组,1、3 为常闭触点,1、2 为常开触点。同样,簧片 5、4、6 为另一组,4、6 为常闭触点,4、5 为常开触点。

3)检查衔铁工作情况

用手拨动衔铁,看看衔铁活动是否灵活,有否卡死现象。如果衔铁活动受阻,应认真找出原因加以排除。另外,也可用手将衔铁按下,然后再放开,看衔铁是否能在弹簧(或簧片)的作用下返回原位。注意,返回弹簧比较容易被锈蚀,应作重点检查部位。

4)测量触点接触电阻

以图 10-17 所示的转换触点为例,用万用表 $R \times 1$ 挡,先测量一下常闭触点 1、3 之间和 4、6 之间的电阻,阻值应为零。然后测量一下常开触点 1、2 之间和 4、5 之间的电阻,阻值应为无穷大。接着,按下衔铁,这时常开触点闭合,1、2 之间和 4、5 之间的电阻变为零,而常闭触点打开,1、3 之间和 4、6 之间的电阻变为无穷大。如果动静触点转换不正常,可轻轻拨动相应的簧片,使其充分闭合或打开。如果触点闭合后接触电阻极大,看上去触点已经熔化,那么被测继电器则不能再继续使用。若触点闭合后接触电阻时大时小不稳定,看上去触点完整无损,只是表面颜色发黑,这时,可在触点空载情况下,给继电器线圈加上额定工作电压,使其吸合、释放几次,然后再测一下接触电阻是否恢复正常。另外,也可用细砂纸轻擦触点表面,使其接触良好。

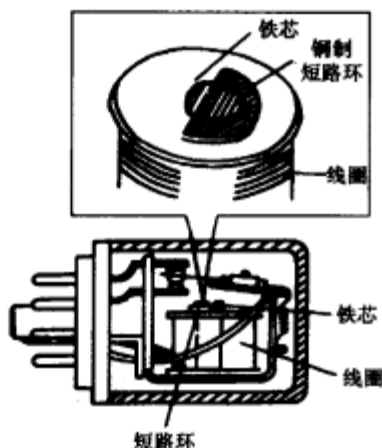


图 10-16 交流继电器
嵌有的铜制短路环

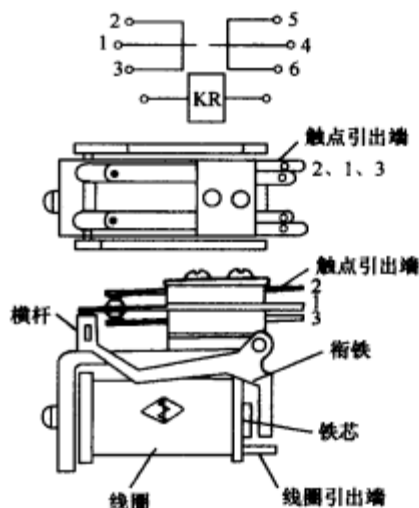


图 10-17 具有两组转换
触点的继电器

5) 测量线圈电阻

根据继电器标称直流电阻值,将万用表置于适当的电阻挡,可直接测出继电器线圈的电阻值。例如,继电器标明 $R=1000\Omega$,则将万用表拨至 $R\times 1k$ 或 $R\times 100$ 挡。然后将两表笔接到继电器线圈的两引脚,万用表指示应基本符合继电器标称直流电阻值。如果线圈有开路现象,可查一下线圈的引出端,看看是否线头脱落。如果断头在线圈的内部或看上去线包已烧焦,那么只有查阅数据,重新绕制,或换一个相同的线圈。

6) 检测吸合电压和电流

测试电路如图 10-18 所示。

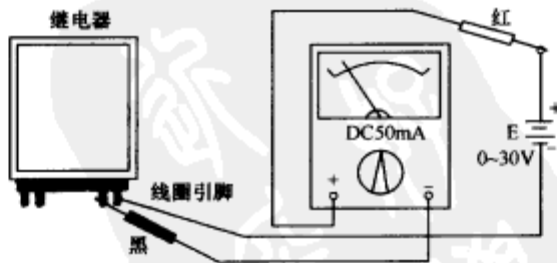


图 10-18 测试电磁继电器的吸合电压和电流

按图 10-18 连接好电路,将稳压电源的电压从低逐渐向高缓慢调节,当刚听到衔铁“嗒”一声吸合时,记下吸合电压和电流值。注意,吸合电压和电流并不是很固定的,多做几次就会发现,每次得到的吸合电压和电流值都略有不同,但大体是在某一数值附近。

7) 检测释放电压和电流

测试电路仍参照图 10-18,当继电器产生吸合动作以后,再逐渐降低线圈两端的电压,这时万用表上的电流读数将慢慢减小,当减到某一数值时,原来吸合的衔铁就会释放

掉,此时的数据便是释放电压和释放电流。一般继电器的释放电压大约是吸合电压的10%~50%。如果被测继电器的释放电压小于1/10吸合电压,此继电器就不应再继续使用。因为这样的继电器工作是不可靠的,可能在断电之后,衔铁仍吸住不放,这种情况是使用继电器时所不允许的。

8) 估计触点负荷

要确切了解某继电器的触点负荷值,应去查阅有关手册或资料。但有时也可凭经验进行估计。一般触点大,衔铁吸合有力、干脆,体积大的继电器,触点负荷也比较大。例如,触点直径为2.5mm,一般能承受220V(AC)×2A左右的负荷。

在上述几项测量中,第6、7项均以直流继电器为例进行叙述。若所测为交流继电器,则应采用交流电源,相应地万用表也应使用AC50mA挡接入电路。

5. 继电器的附加电路

1) 串联 RC 电路

当电路闭合的瞬间,电流可以从电容C通过,使继电器的线圈两端加上比正常工作电压高的电压而迅速吸合,能缩短吸合时间,当电路稳定后,电容不起作用。如图10-19(a)所示。

2) 并联 RC 电路

当断开电源时,线圈中因自感而产生的电流,通过RC放电,使电流衰减减慢,从而延长了衔铁的释放时间。如图(b)所示。

3) 并联二极管电路

当流经继电器线圈的电流瞬间减少时,在它的两端会产生一个电动势,它与原电源电压重叠,加在与继电器串联的输出晶体管的c、e两极,使c、e极有可能被击穿。为消除感应电动势,在继电器旁并联一个二极管,以吸收该电动势,起保护作用。注意二极管的负极与继电器接电源正极相连。如图(c)所示。

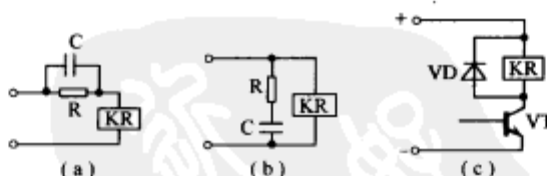


图 10-19 继电器的附加电路

三、固态继电器(SSR)

1. 固态继电器的特性

固态继电器(SSR),是一种由集成电路和分立元件组合而成的一体化无触点电子开关器件。其功能与电磁继电器基本相似,但与电磁继电器相比,又有突出的特点。固态继电器的输入端仅需要很小的控制电流,且能与TTL、CMOS等集成电路实现良好兼容。它的输出回路采用大功率晶体管或双向晶闸管作开关器件来接通或断开负载电源。由于在开关过程中无机械接触部件,因此具有工作可靠、寿命长、噪声低、开关速度快和工作频率高等特点。目前,这种器件已在许多自动化控制装置中取代了电磁式继电器,而且还广泛用于电磁继电器无法应用的领域。例如,计算机终端接口电路、数据处理系统的终端装

置、数字程控装置、测量仪表中的微电机控制、各种调温与控温装置、自动售货机、货币兑换机、交通信号灯开关以及一些耐潮湿、耐腐蚀、易燃易爆的场合，均适宜使用固态继电器作为开关器件。目前，市场上常用固态继电器的外形如图 10-20 所示。

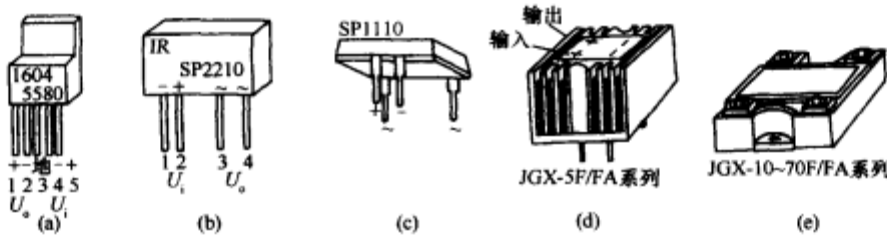


图 10-20 常见固态继电器的外形

2. 常用固态继电器的类型

固态继电器的种类很多，常用的主要有直流型和交流型两种。

图 10-21 和图 10-22 是直流型固态继电器和交流型固态继电器原理图及电路符号。

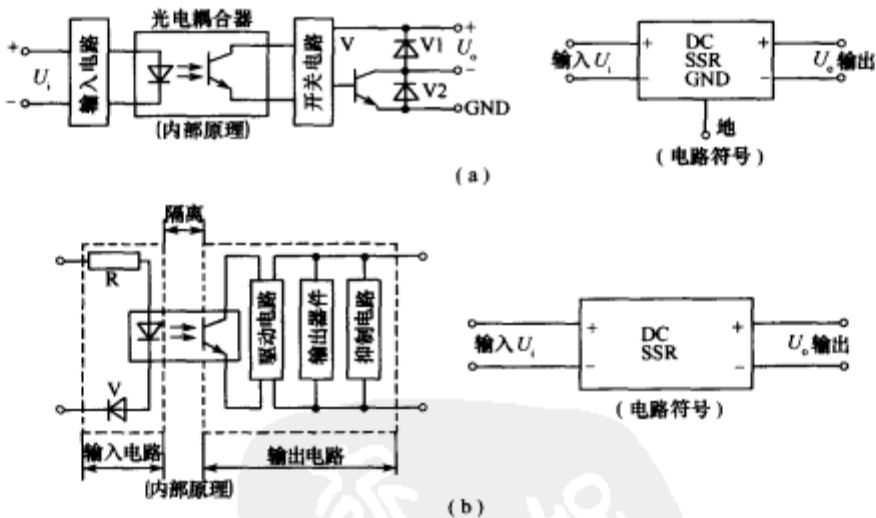


图 10-21 直流型固态继电器原理图及电路符号

(a) 五端 DC SSR 内部原理和电路符号；(b) 四端 DC SSR 内部原理和电路符号。

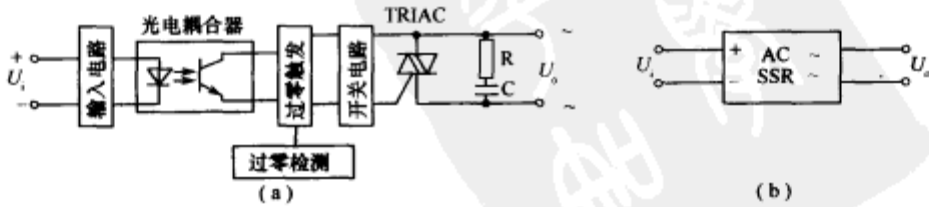


图 10-22 交流固态继电器原理图及电路符号

(a) 内部原理；(b) 电路符号。

3. 固态继电器的工作原理

固态继电器的内部电路如图 10-23 所示。图(a)为交流型 SSR，图(b)为直流 SSR。

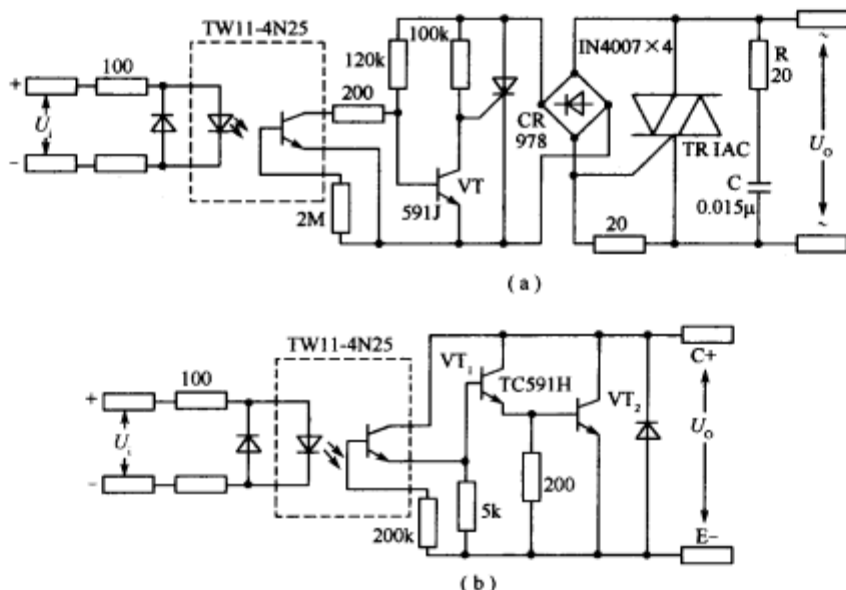


图 10-23 固态继电器的内部电路

从图 10-23 中可以看出,不论是直流型还是交流型 SSR,都采用光电耦合方式作为控制端与输出端的隔离和传输。对直流型,它的额定工作电流及额定电压的大小,取决于 VT_2 ,而交流型主要是由 TRIAC(双向可控硅)决定,选用不同的 VT_2 和 TRIAC,即得到不同的额定值型号。

1) 交流型 SSR 的工作原理

交流型 SSR 有两个输入端、两个输出端,即为四端器件。工作时,只要在输入端加上一定的控制信号,便可控制输出端的“通”与“断”。而由于中间的耦合电路使用了“光耦合器”,故既有控制信号的输入、输出端间耦合功能,又能在电气上断开输入与输出端间的直接连接,起良好的绝缘隔离作用。同时,由于输入端的负载是发光二极管,这使 SSR 的输入端很容易做到与输入信号相匹配,在使用中可直接与计算机输出口相接。

交流型 SSR 的一个重要特点是过零触发技术,从电路图可以看出,其中开关电路是由触发电路触发驱动的。但是,若开关电路不加特殊控制电路时,将产生射频干扰,并以高次谐波或尖峰等污染电网。为此特设“过零控制电路”,用以保证触发电路在有输入信号和开关器件两端电源电压值过零的瞬间触发开关器件实现通、断动作,杜绝了开关器件带电(压)动作所产生的干扰和污染。

所谓“过零”是指当加入控制信号时,交流电压过零的瞬间,SSR 为通态;而当断开控制信号后,SSR 要待交流电的正半周与负半周的交界点(零电位)时,SSR 才为断态。

交流型 SSR 的另一个重要技术特点是以吸收回路实现瞬间过电压的保护。从图 10-23 中可知,当反峰电压大于双向可控硅允许的峰值电压时,若无瞬间过压保护措施,有可能损坏 SSR,因此在交流电源输入端并接 RC 浪涌吸收回路及 SSR 输出端并接非线性的压敏电阻,实施保护功能。

2) 直流型 SSR 的工作原理

直流型 SSR 的工作原理与交流型 SSR 相同,但是,直流型 SSR 输出电路与交流型

SSR 稍有不同。由于它是控制直流电源的“通”与“断”，所以不存在过零控制电路和吸收电路，其开关器件不用双向晶闸管，而是大功率开关三极管。

重点提示：(1)采用 TTL、CMOS 等电路直接驱动 SSR 时，应先了解驱动的电压和电源是否满足 SSR 的需要。如果驱动的信号虽在“0”电平，但有一定的输出电压，此电压超过 1 V 时，就有可能使 SSR 误通；相反，在“1”信号电平时，虽然有足够的电压，但电流不足以驱动 SSR，也不行。解决的办法是在电路的输出端增加一级三极管跟随器，以满足 SSR 开关的控制电平需要。

(2)通常 SSR 均设计为“常开”状态。即无控制信号输入时，输出端是开路的，但在自动化控制设备中经常需要“常闭”式的 SSR。这时，要在输入端外接一组简单的电路，如图 10-24 所示，变为常闭式 SSR。

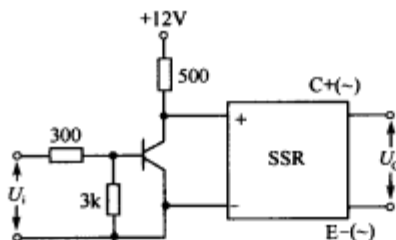


图 10-24 常开变常闭

(3)额定工作电流大的 SSR 应安装在散热板上工作，一般 15A 以上应加散热片，并注意 SSR 的空气对流，以保证良好的散热效果。

4. 固态继电器的参数

固态继电器有两个重要参数，在选用时应加以注意。

1) 输出负载电压

输出负载电压指在给定的条件下，器件能承受的稳态阻性负载的允许电压有效值。如果受控负载是非稳态或非阻性的，则必须考虑所选产品是否能承受工作状态或条件变化时(冷热转换、感应电势、瞬态峰值电压、变化周期等)所产生的最大合成电压，例如，负载为感性时，所选固态继电器的输出负载电压必须大于 2 倍的电源电压值，而且所选用产品的阻断(击穿)电压应高于负载电源电压峰值的两倍。国产 220V 的交流固态继电器的耐压余量较大(600V)，能适用于一般的小功率非阻性负载，但若作为频繁启动的电机负载，则宜选用 380V 的产品。

2) 输出负载电流

输出负载电流指在给定条件下(如环境温度、额定电压、功率、有无散热器等)，器件所能承受的电流最大有效值。一般厂家在器件说明书中都提供热降额曲线，选用时，应充分考虑周围环境温度的因素，若环境温度上升，应按曲线作降额使用，以防止因过载而损坏固态继电器。

5. 固态继电器的检测

1) 输入、输出引脚及好坏的判别

在交流固态继电器的本体上，输入端一般标有“+”、“-”字样，而输出端则不分正、负。而直流固态继电器，一般在输入和输出端均标有“+”、“-”，并注有“DC 输入”、“DC 输出”的字样，以示区别。用万用表判别时，可使用 $R \times 10k$ 挡，分别测量四个引脚间的正、反向电阻值。其中必定能测出一对管脚间的电阻值符合正向导通、反向截止的规律：即正向电阻比较小，反向电阻为无穷大。据此便可判定这两个管脚为输入端，而在正向测量时(阻值较小的一次测量)，黑表笔所接的是正极，红表笔所接的则为负极。对于其他各管脚间的电阻值，则无论怎样测量均应为无穷大。

对于直流固态继电器,找到输入端后,一般与其横向两两相对的便是输出端的正极和负极。

注意:有些固态继电器的输出端带有保护二极管,如直流五端器件,测试时,可先找出输入端的两个引脚,然后,采用测量其余三个引脚间正、反向电阻值的方法,将公共地、输出+输出-加以区别。

2)检测输入电流和带载能力

被测器件为 SP2210 型 AC-SSR,它的额定输入电流范围为 $10\text{mA}\sim 20\text{mA}$,输出负载电流为 2A 。测试电路如图 10-25 所示。

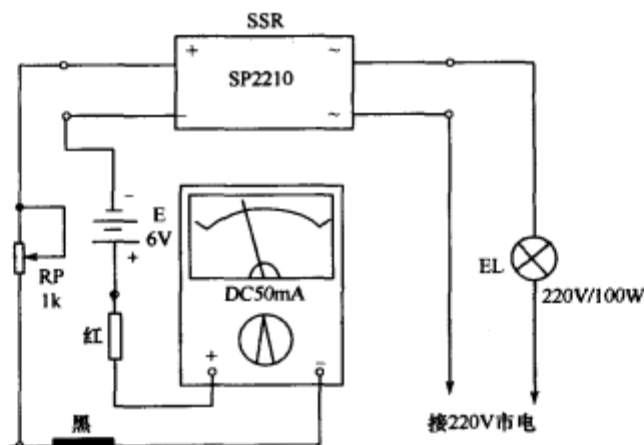


图 10-25 检测 AC SSR 输入电流和带载能力

测试时,输入电压选用直流 6V 。将万用表置于直流 50mA 挡接入电路。 RP 为 $1\text{k}\Omega$ 电位器,用来限制输入电流和调整输入电流的大小。 SP2210 的输出端串入 220V 交流市电, EL 为一只 $220\text{V}/100\text{W}$ 的白炽灯泡,作为交流负载。电路接通以后,调整 RP ,当万用表指示值小于 9mA 时,灯泡处于熄灭状态,当指示电流在 $10\text{mA}\sim 20\text{mA}$ 之间变化时,灯泡均能正常发光。说明被测 SP2210 型 AC-SSR 性能良好。

按照上述方法,也可检测 DC-SSR 的性能好坏。但要将在 DC-SSR 的输出端接直流电源和相应的负载。

四、干簧管和干簧继电器

1. 干簧管的特性

干簧管的全称叫“干式舌簧开关管”,是一种具有干式接点的密封式开关。干簧管具有结构简单、体积小、寿命长、动作灵活、防腐、防尘以及便于控制等优点。可广泛用于接近开关、防盗报警等控制电路中。图 10-26 为干簧管的实物外形和电路符号图。

干簧管把既导磁又导电的材料做成簧片平行地封入充有惰性气体(如氮气、氩气等)的玻璃管中组成开关元件。簧片的端部重叠并留有一定间隙以构成接点。当永久磁铁靠近干簧管使簧片磁化时,簧片的接点部分就感应出极性相反的磁极,异性的磁极相互吸引,当吸引的磁力超过簧片的弹力时,接点就会吸合;当磁力减小到一定值时,接点又会被簧片的弹力所打开。

干簧管接点的形式常见的有常开接点(H型)与转换接点(Z型)两种。常开接点的干

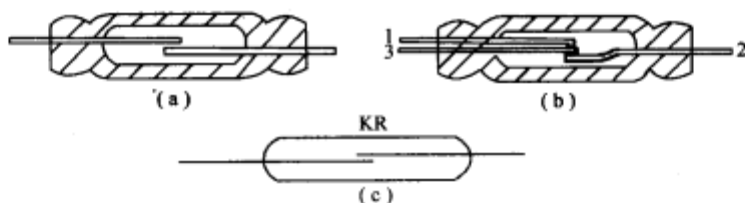


图 10-26 干簧管的外形及符号

(a)外形一; (b)外形二; (c)电路符号。

簧管,其结构如图 10-26(a)所示,平时它的接点打开,当簧片被磁化时,接点闭合;转换接点的干簧管,结构如图 10-26(b)所示。簧片 1 用导电而不导磁的材料做成,簧片 2、3 仍是用既导电又导磁的材料制成。平时,靠弹性使簧片 1 和 3 闭合。当永久磁铁靠近它时,簧片 2、3 被磁化而吸引,使接点 2、3 闭合。这样就构成了一个转换开关。干簧管的簧片接点间隙一般约 1mm~2mm,两簧片的吸合时间极短,通常小于 0.15ms。

2. 干簧管的检测

以常开式二端干簧管为例,将万用表置 $R \times 1$ 挡,两表笔分别任意接干簧管的两个引脚,阻值应为无穷大。用一块小磁铁靠近干簧管,此时万用表指针应向右摆至零,说明两簧片已接通,然后将小磁铁移开干簧管,万用表指针应向左回摆至无穷大。测试时,若磁铁靠近干簧管时,簧片不能吸合(万用表指针不动或摆不到零位),说明其内部簧片的接点间隙过大或已发生位移;若移开磁铁后,簧片不能断开,说明簧片弹性已经减弱。这样的干簧管是不能使用的。

对于三端转换式干簧管,同样可采用上述方法进行检测。但在操作时要弄清三个接点的相互关系,以便得到正确的测试结果,并作出正确的判断。

3. 干簧继电器

把干簧管放在线圈里,就可以制成一个干簧继电器。在同一干簧继电器中可同时放置 2 个~4 个干簧管,以得到多对极点的干簧继电器。

和电磁继电器相比,干簧继电器具有以下优点:

(1)体积小,质量小;

(2)簧片轻而短,有固有频率,可提高接点的通断速度,通断的时间仅为 1ms~3ms,比一般的电磁继电器快 5 倍~10 倍;

(3)接点与大气隔绝,管内有稀有气体,可减少接点的氧化和碳化;并且由于密封,可防止外界有机蒸气和尘埃杂质对接点的侵蚀。

第十一章 传感器件的识别及检测

传感器通常是指能感受并能按一定规律将所感受的被测非电量转换成便于处理与传输的电量的器件或装置。在工业、农业、医学、环保和科学领域应用十分广泛,目前,实际应用的传感器有几百种,本章主要介绍一些常用的传感器。

第一节 传感器概述

一、传感器的组成

传感器通常是指能感受并能按一定规律将所感受的被测非电量(包括物理量、化学量、生物量等)转换成便于处理与传输的电量(一般为电量,也有少数为其他物理量,如光信号)的器件或装置。不难理解,传感器中包含着两个必不可少的内容。一是拾取信息,二是将拾取到的信息进行变换,使之变成为一种与被测量有确定函数关系且便于处理与传输的物理量,多数为电量。

传感器一般由敏感元件、转换元件组成。由于集成技术的发展,近代传感器往往除敏感元件、转换元件外,还包含有测量电路及辅助电源。传感器的大致组成如图 11-1 所示。



图 11-1 传感器的组成

敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测非电量,并将其送到“转换元件”转换成电量的部分。转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号部分。测量电路是指将转换元件输出的电量变成便于显示、记录、控制和处理的有用电信号的电路。有的传感器不仅具有测量功能,还具有根据输入的多种信息加以选择和判断的功能。这种发展趋势的特点表现在以传感器为核心,同时结合了各种先进技术和方法,从而形成了一个新的技术领域,这就是“传感技术”或“传感器”技术。

二、传感器的分类

传感器的分类目前尚无统一规定,传感器本身又种类繁多,原理各异,检测对象五花八门,给分类工作带来一定困难,通常传感器按下列原则进行分类。

1. 按工作原理分

传感器按其传感的工作原理之不同,大体上可分为物理型、化学型及生物型三大类。

物理型传感器是利用某些变换元件的物理性质以及某些功能材料的特殊物理性能制成的传感器。如利用金属、半导体材料在被测物理量作用下引起的电阻值变化的电阻式传感器;利用磁阻随被测物理量变化的电感、差动变压器式传感器;利用压电晶体在被测力作用下产生的压电效应而制成的压电式传感器等。近年来利用半导体材料的某些特殊性质而制成的多种传感器,如利用半导体材料的压阻效应、光电效应和霍尔效应制成的压敏、光敏和磁敏传感器等。在物理传感器中又可分为物性型传感器和结构型传感器。所谓物性型传感器是利用某些功能材料本身所具有的内在特性及效应把被测物理量直接转换为电量的传感器。结构型传感器是以结构(如形状、尺寸等)为基础,利用某些物理规律实现把被测信息转换为电量。

化学传感器是利用电化学反应原理,把无机和有机化学物质的成分、浓度等转换为电信号的传感器。

生物传感器是利用生物活性物质选择性地识别和测定生物化学物质判定某种物质是否存在,其浓度是多少,进而利用电化学的方法进行电信号转换的传感器。

2. 按传感器的输入信息分

按传感器的输入信息(或被测参数)分类,传感器可分为位移、速度、加速度、力、压力、流速、温度、光强、湿度、黏度和浓度等传感器。如温度传感器中就包含有用不同材料和方法制成的各种温度传感器,如热电偶温度传感器、热敏电阻温度传感器、PN结热敏三极管温度传感器、热释电温度传感器等。

3. 按传感器输出信号的性质分

传感器按输出信号的性质,可分为:输出为开关量(“1”和“0”)的开关型传感器;输出为模拟型的传感器;输出为脉冲或代码的数字型传感器。

4. 按能量的传递方式分

按能量的传递方式分类,传感器可分为有源传感器和无源传感器两大类。

有源传感器将非电量转换为电量。无源传感器本身并不是一个换能器,被测非电量仅对传感器中的能量起控制或调节作用,所以它必须具有辅助能源——电源。

除以上几种分类方法外,还有按应用范围和应用对象来加以分类的。如振动测量传感器、光学传感器、液位传感器。特别在医学测量中往往习惯于按被测器官来对传感器加以分类,如心音传感器、心电传感器、脉搏传感器等。

重点提示:如果将传感器与人的五大感觉器官相比拟,那么,光敏传感器相当于人的“视觉”,声敏传感器相当于人的“听觉”,气敏传感器相当于人的“嗅觉”,化学传感器相当于人的“味觉”。压敏、温敏、流体传感器相当于人的“触觉”。与当代的传感器相比,人的感觉能力好得多,但也有一些传感器比人的感觉功能优越,例如人没有能力感知紫外或红外线辐射,感觉不到电磁场、无色无味的气体等。

三、传感器的选择和使用

在选择和使用传感器时,首先要了解传感器的灵敏度和量程。若待测信号很大,超过传感器的量程,应设法将信号衰减后再测量。但更为普遍的情况是待测信号很小,而传感

器的灵敏度不够,此时需采取一些辅助措施。例如,使用光敏元件检测光信号时,若入射光十分微弱,可先用透镜使其聚焦,再投射到光电元件上,这样就能可靠地测定入射光强。

传感器的稳定性也十分重要。使用时,应注意传感器是否随环境条件而发生漂移。半导体传感器灵敏度高是一大优点,但稳定性差是其根本弱点。对稳定性考虑不周会造成假象和意外损失,所以在使用上应采取相应措施改善稳定性。一种做法是改善传感器的工作环境,比如减振、遮光、恒温 and 恒湿。另一种做法是采用补偿措施,使用性能一致的两个传感器,一个用于测量,一个用于补偿因环境条件变化引起的测量值的变化。为此,应把补偿用的传感器放在和测量用的传感器尽量一致的环境下,只是不要受待测参量的作用。更理想的补偿方法是这样的:两个传感器处在同一环境条件下同时进行测量,使得环境产生的效应互相抵消。

除以上外,还要留意每种传感器的特殊使用要点,否则会引起测量误差。在使用热敏电阻时应保持热接触良好,并减少电阻中工作电流的自加热效应。使用热电偶时还须保持冷端温度恒定或设冷端补偿。使用光电池时要注意负载电阻宜小,这样光电信号和光强成正比。由此可见,只有对每个环节都仔细加以考虑,才能充分发挥传感器的全部功能。

第二节 磁敏传感器

常用的磁敏传感器是采用霍尔元件制作的霍尔传感器,霍尔传感器具有灵敏度高、可靠性好、无触点、功耗低、寿命长等优点,适于自控设备、仪器仪表及速度传感、位移传感等应用。

一、霍尔元件

1. 霍尔元件的特性

利用霍尔效应制成的半导体元件叫霍尔元件。所谓霍尔效应是指当半导体上通过电流,并且电流的方向与外界磁场方向相垂直时,在垂直于电流和磁场的方向上产生霍尔电势的现象。霍尔元件的工作原理和外形如图 11-2 所示。

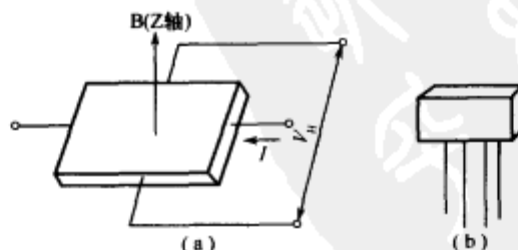


图 11-2 霍尔元件的工作原理和外形

(a)工作原理; (b)外形。

由原理图可见,在半导体薄片两端通以控制电流 I ,并在薄片的垂直方向施加感应强度为 B 的磁场,则在垂直于电流和磁场方向上将产生电势为 V_H 的霍尔电势,它们之间的关系为

$$V_H = K_H IB$$

式中： K_H 为霍尔灵敏度，它是一个与材料和几何尺寸有关的系数。

霍尔元件通常有四个引脚，即两个电源端和两个输出端。它的电路符号和典型应用电路如图 11-3 所示。

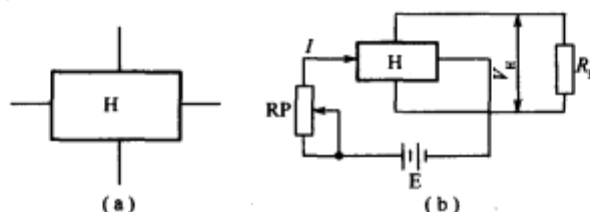


图 11-3 霍尔元件的符号和应用电路

(a)符号；(b)应用电路。

E 为直流供电电源， RP 为控制电流 I 大小的电位器。 I 通常为几十至几百毫安； R_L 是 V_H 的负载。霍尔元件具有结构简单、频率特性优良（从直流到微波）、灵敏度高、体积小、寿命长等突出特点，因此被广泛用于位移量测量、磁场测量、接近开关以及限位开关电路中。

2. 霍尔元件的检测

1) 测量输入电阻和输出电阻

测试电路如图 11-4 所示。

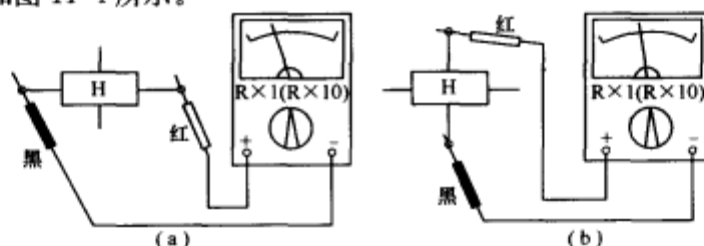


图 11-4 测量霍尔元件的输入电阻和输出电阻

(a)测量输入电阻 R_1 ；(b)测量输出电阻 R_2 。

测量时要注意正确选择万用表的电阻挡量程，以保证测量的准确度。对于 HZ 系列产品应选择万用表 $R \times 10$ 挡测量；对于 HT 与 HS 系列产品应采用万用表 $R \times 1$ 挡测量，测量结果应与手册的参数值相符。如果测出的阻值为无穷大或为零，说明被测霍尔元件已经损坏。

2) 检测灵敏度(K_H)

采用双表法，测试电路如图 11-5 所示。

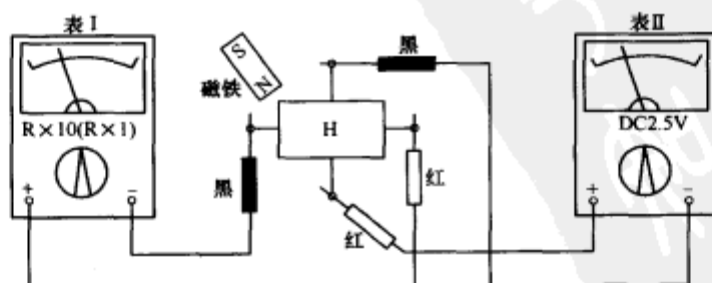


图 11-5 测量霍尔元件的灵敏度

将表 1 置于 $R \times 1$ 或 $R \times 10$ 挡(根据控制电流 I 大小而定),为霍尔元件提供控制电流 I ,将万用表 2 置于直流 2.5V 挡,用来测量霍尔元件输出的电动势 V_H 。用一块条形磁铁垂直靠近霍尔元件表面,此时,表 2 的指针应明显向右偏转。在测试条件相同的情况下,表 2 向右偏转的角度越大,表明被测霍尔元件的灵敏度(K_H)越高。测试时要注意勿将霍尔元件的输入、输出端引线搞错接反,否则,将测不出正确结果。

二、霍尔传感器

霍尔传感器是在霍尔元件的基础上发展而来的一种电子器件。具有灵敏度高、可靠性好、无触点、功耗低、寿命长等优点,很适合在自动控制、仪器仪表及测量物理量的传感器中使用。它将霍尔元件与放大器、温度补偿电路及稳压电源做在同一个芯片上,因而能产生较大的电动势,克服了霍尔元件电动势较小的不足。霍尔传感器也称为霍尔集成电路,分为线性型和开关型两种。

线性型霍尔传感器的输出电压与外加磁场强度呈线性关系。内部结构框图、电路符号及外形如图 11-6 所示。

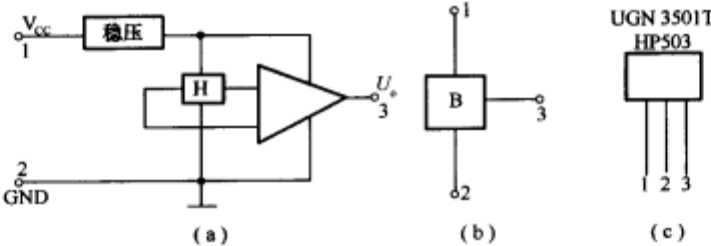


图 11-6 线性型霍尔传感器

(a)内部组成框图;(b)电路符号;(c)外形。

开关型霍尔传感器由霍尔元件、放大器、整形电路以及集电极开路输出的三极管等部分组成。其内部电路和工作电路如图 11-7 所示。当磁场作用于霍尔传感器时产生一微小的霍尔电压,经放大器放大及整形后使三极管导通,输出低电平;当无磁场作用时三极管截止,输出为高电平。

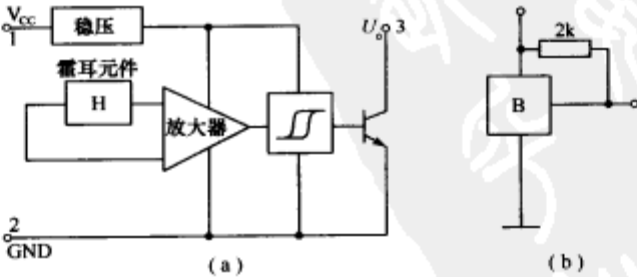


图 11-7 开关型霍尔传感器

(a)内部组成框图;(b)工作电路。

第三节 气敏传感器

在工业生产与人们的日常生活中,气敏传感器广泛地用来检测可燃性气体和毒性气

体的泄漏,以防大气污染、爆炸、火灾、中毒等。气敏传感器种类较多,最常用的是半导体气敏传感器。

一、气敏传感器的结构与特性

半导体气敏元件是半导体气敏传感器的核心。它是利用半导体材料二氧化锡(SnO_2)对气体的吸附作用,从而改变其电阻的特性制成的。其结构与特性如图 11-8 所示。

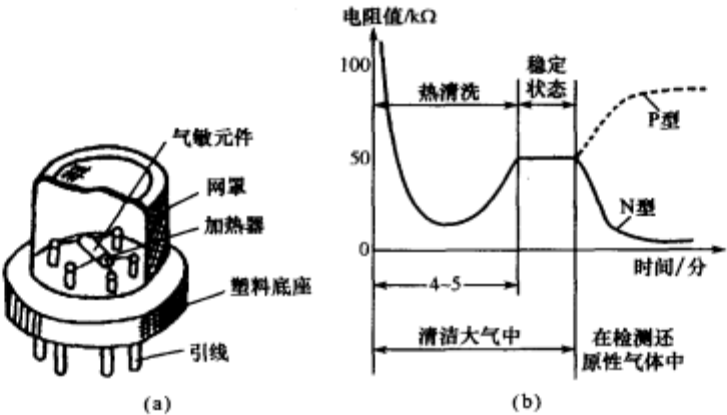


图 11-8 气敏传感器的结构与特性

当其表面吸附有被检测气体时,其半导体微晶粒子接触界面的导电电子比例会发生变化,从而使气敏元件的电阻值随被测气体的浓度而变化,于是就可将气体浓度的大小转化为电信号的变化。这种反应是可逆的,因此是可重复使用的。为了使反应速度加快,并得到高的灵敏度,通常需要对气敏元件用电流通过电热丝进行加热。加热的温度因气敏元件所用材料的不同而异。

半导体气敏元件吸附有被测气体时的电阻变化如图 11-8(b)所示。气敏元件在清洁空气中开始通电加热时,其电阻急剧下降,过几分钟后达到稳定值,这段时间称为被动期稳定时间。气敏元件的电阻处于稳定值后,还会随着被检测气体的吸附而发生变化。其电阻值变化规律视半导体的类型而定,P 型半导体气敏元件阻值上升,而 N 型半导体气敏元件阻值下降。

气敏元件加热后,在正常空气中的电阻为静态电阻 R_0 ,放入一定被检测气体后的电阻值为 R_x ,则 R_0/R_x 之比称为气敏元件的灵敏度。气敏元件接触被检测气体后其阻值从 R_0 变为 R_x 的时间称为响应时间,而当脱离气体后阻值从 R_x 恢复到 R_0 的时间称为恢复时间。

二、气敏传感器的应用

气敏传感器可根据其检测气体的不同而分许多种,其应用电路也有所差别。下面主要介绍气敏传感器在自动排油烟机 and 烟雾报警器中的应用。

1. 气敏传感器在抽油烟机中的应用

气敏传感器在抽油烟机中的应用电路如图 11-9 所示。

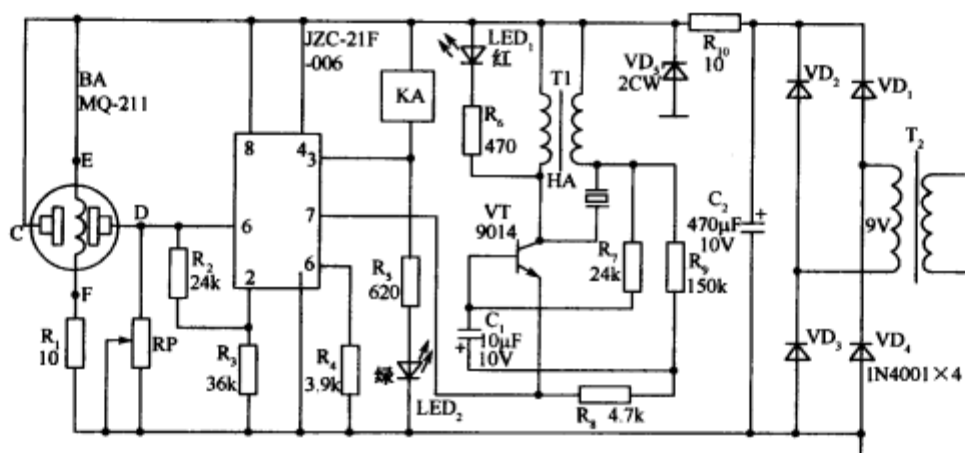


图 11-9 气敏传感器在抽油烟机中的应用电路

自控电路由气敏传感器 BA、时基 IC555 及阻容元件组成。当室内空气洁净时，传感器 BA 检测不到有害气体，本身处于高内阻状态，使 IC 的 6 脚电位低于 $2/3V_{DD}$ ($6V$)，IC 的 3 脚输出高电平，继电器 KA 不吸合，LED₂ (绿色) 发光，指示自控电路电源已接通。当炒菜时产生的油烟被气敏头 BA 检测到后，其内阻降低，使 IC 的 6 脚电位上升到 $2/3V_{DD}$ 以上，通过 R₂ 的分压，使 IC 的 2 脚电位同时上升到 $1/3V_{DD}$ 以上，此时 IC 的 3 脚输出低电平，LED₂ 熄灭，继电器 KA 吸合，两组常开触点 KA-1、KA-2 分别接通左、右电机电源，电机立即启动运转。IC 的 7 脚同时输出一个低电平电压，为三极管 VT、振荡升压变压器 T₁ 及压电陶瓷片 HA 等组成的音频报警电路提供工作电压，压电片 HA 发出报警声，LED₁ (红色) 随报警声同时闪亮；当油烟减少后，IC 的 6 脚电位降至 $2/3V_{DD}$ 以下，3 脚恢复原来的高电平，LED₂ 又点亮，KA 释放，切断电机的供电电源，电机停转，报警声同时消失。不报警时，实测气敏传感器 BA 的 C、D 端电压为 $5.2V$ 左右。报警时降为 $3.6V$ 左右。

2. 气敏传感器在烟雾报警器中的应用

烟雾报警器适用于居室或公共场所，当烟雾缭绕时，它就会发出“嘀嘀”报警声，提醒人们不要再吸烟了。此报警器也可用于火灾烟雾报警等。烟雾报警器的电路如图 11-10 所示，电路主要由气敏传感器、报警集成电路与电源电路等几部分组成。

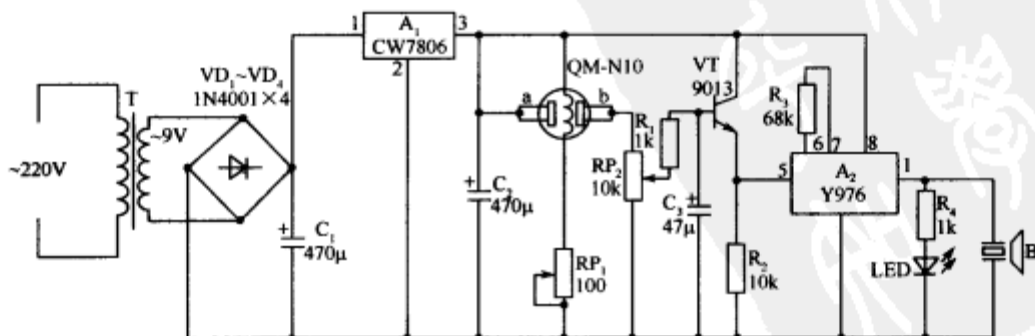


图 11-10 气敏传感器在烟雾报警器中的应用电路

图 11-10 中, QM-N10 是一种新颖的低功耗、高灵敏度气敏传感器, 当环境空气清晰无烟雾时, a、b 两极间电阻值很大, 所以 b 极为低电平, 三极管 VT 截止, 其发射极输出低电平, 使得报警集成块 Y976 的使能端 5 脚为低电平, 报警集成电路不工作, 整个电路处于静止状态。当 QM-N10 气敏传感器检测到烟雾时, a、b 两极间电阻迅速减小, b 极电位升高, 并通过 RP_2 、 R_1 使 VT 由原来的截止态转为导通态, A_2 的使能端 5 脚突变为高电平, 1 脚就输出“嘀嘀”报警声, 同时高亮度发光二极管 LED 闪亮, 可照亮“请不要吸烟”警示牌; 当烟雾消失, 气敏传感器 a、b 极间恢复高电阻, 报警声停止。

整机电源由变压器 T 降压, 二极管 $VD_1 \sim VD_4$ 为桥式整流, 三端稳压集成块 A_1 稳压供给。 RP_1 用来调节气敏传感器的灯丝电流, RP_2 则用来调整报警器的报警灵敏度。

气敏传感器可采用 QM-N10、MQK-2 型等, 其灯丝正常工作范围为 $(5 \pm 0.2)V$ 。 VT 采用 9013 型等硅 NPN 三极管, 要求 $\beta \geq 100$ 。 $VD_1 \sim VD_4$ 可用 1N4001 型硅整流二极管, LED 最好采用高亮度发光二极管。

调试时, 首先将 RP_1 调到阻值最大位置, 以避免刚开机时电流过大可能烧坏气敏传感器的加热灯丝, 然后逐渐调小 RP_1 阻值, 使气敏传感器的灯丝电流在 130mA 左右, 在此电流值上预热机器十分钟后再进行下一步灵敏度调整。灵敏度调整时, 先将 RP_2 阻值调至最小, 请吸烟者对气敏传感器吐一口烟雾, 然后调大 RP_2 阻值, 要求烟雾距离气敏传感器 0.5m 左右时报警器能发声报警为宜。

三、气敏传感器的检测

对于气敏传感器的检测, 可按图 11-11 搭接一个电路。

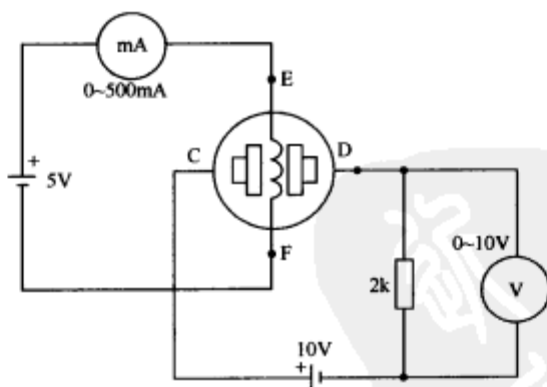


图 11-11 气敏传感器检测电路

在气敏传感器接入电路的瞬间, 电压表指针应向负方向偏转, 经过几秒后回零, 然后逐渐上升到一个稳定值, 说明气敏传感器已达到预热时间, 电流表应指示在 150mA 以内, 此时将香烟的烟雾飘向气敏传感器, 电压表指示应大于 5V, 电压表变化幅度越大说明气敏传感器性能越好。

第四节 光敏传感器

光敏传感器是把光信号转换为电信号的器件, 常用的光敏传感器有以下几种。

一、光敏电阻

光敏电阻的有关内容请参考第一章有关内容。

二、光敏二极管

光敏二极管的有关内容请参考第四章有关内容。

三、光敏三极管

光敏三极管的有关内容请参考第五章的有关内容。

四、光电耦合器

1. 光电耦合器的特性

光电耦合器是以光为媒介、用来传输电信号的器件。通常是把发光器与受光器(光电半导体管)封装在同一管壳内。当输入端加电信号时发光器发出光线,受光器接受光照之后就产生光电流,由输出端引出,从而实现了“电—光—电”的转换。由于光电耦合器具有抗干扰能力强、使用寿命长、传输效率高特点,可广泛用于电气隔离、电平转换、级间耦合、开关电路、脉冲放大、固态继电器、仪器仪表和微型计算机接口电路中。

光电耦合器是由一只发光二极管和一只受光控的光敏晶体管(常见为光敏三极管)组成的。常见的光电耦合器有管式、双列直杆式等封装形成。光电耦合器种类很多,图 11-12 列出了 10 种主要类型。

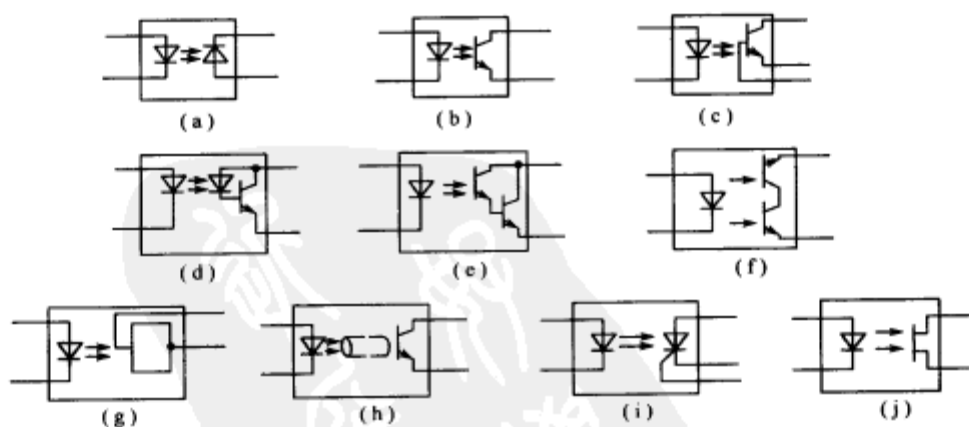


图 11-12 光电耦合器常见类型

- (a)二极管型; (b)通用型(无基极引线); (c)通用型(有基极引线);
(d)高速型; (e)达林顿型; (f)双向对称型; (g)光集成电路型;
(h)光纤型; (i)光敏晶闸管型; (j)光敏场效应管型。

光电耦合器的工作过程如下:光敏三极管的导通与截止是由发光二极管所加正向电压控制的。当发光二极管加上正向电压时,发光二极管有电流通过发光,使光敏三极管内阻减小而导通;反之,当发光二极管不加正向电压或所加正向电压很小时,发光二极管中无电流或通过电流很小,发光强度减弱,光敏三极管的内阻增大而截止。根据上述光电耦

合器的工作原理,可用简单的方法来检查其质量的好坏。

2. 光电耦合器的代换

在家用电器中,较常用的光电耦合器主要有以下三大类,见表 11-1。

表 11-1 家用电器常用光电耦合器

类型	型 号	内 电 路 图
第 1 类	PC817、PC818、PC810、PC812、PC507、TLP521、TLP621	
第 2 类	TLP632、TLP532、TLP519、TLP509、PC504、PC614、PC714	
第 3 类	TLP503、TLP508、TLP531、PC503、PC613、4N25、4N26、4N27、4N28、4N35、4N36、4N37、TIL111、TIL112、TIL114、TIL115、TIL116、TIL117、TLP631、TLP535	

本类间所有型号均可直接互换。第 1 类与第 2 类可以代换,但需对应其相同引脚功能接入。原则上第 3 类可以代换第 1、2 类,选择功能相同引脚接入即可,无用引脚可不接入电路。但第 1、2 类不可以代换第 3 类。

如用 PC817 代换 TLP632 时,PC817 的 1、2 脚对应接入 TLP632 的 1、2 脚位置;PC817 的 3 脚对应接入 TLP632 的 4 脚位置;PC817 的 4 脚对应接入 TLP632 的 5 脚位置即可。如用 4N35 代换 TLP632 时,可直接接入原 TLP632 的位置,4N35 的 6 脚不接电路。

3. 光电耦合器的检测

1) 静态检测

由于光电耦合器中的发射管与接收管是互相独立的,因此可用万用表单独检测这两部分,测量方法如下。

(1)利用 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡测量发射管的正、反向电阻,通常正向电阻为几百欧,反向电阻为几千欧或几十千欧。如果测量结果是正反向电阻非常接近,表明发光二极管性能欠佳或已损坏。检查时,要注意不能使用 $R \times 10k$ 欧姆挡,因为发光二极管工作电压一般在 $1.5V \sim 2.3V$,而 $R \times 10k$ 挡电池电压为 $9V \sim 15V$,会导致发光二极管击穿。

(2)分别测量接收管的集电结与发射结的正、反向电阻,无论正反向测量其阻值都为无穷大,否则是光敏三极管已损坏。

(3)用 $R \times 10k$ 挡检查发射管与接收管的绝缘电阻,应为无穷大。

上述发光二极管或光敏三极管只要有一个元件损坏,或者它们之间绝缘不良,则该只光电耦合器不能正常使用。

2) 动态检测

检测时可用两只万用表进行判别,先将一块万用表放在 $R \times 1$ 档上,黑表笔接发射二极管的正极,红表笔接发光二极管的负极,为发光二极管提供驱动电流,将另一只万用表放在 $R \times 100$ 挡上,同时测量接收管的两端电阻并交换表笔,两次测量中有一次测得阻值较小,约几十欧,这时黑表笔接的就是接收管集电极。保持这种接法,将接发射管的万用表放在 $R \times 100$ 挡上,如这时接收管两脚之间的阻值有明显的变化,增至几千欧,则说明光电耦合器是好的。如果接收管两脚之间的阻值不变或变化不大,则说明光电耦合器损坏。

第五节 温度传感器

对温度敏感的传感器称为温度传感器,温度传感器主要用在温度的测量、控制以及过热保护方面。在家用电器中,应用最多的传感器是温度传感器,它广泛应用于电冰箱、空调器、电烤箱、微波炉、衣服干燥器、食品加热器等家电设备中。常用的温度传感器有以下几种。

一、热敏电阻

热敏电阻是一种半导体测温元件,是利用测温元件电阻值随温度变化而变化的特性来测量温度的。一般按温度系数可分为负温度系数热敏电阻(NTC)和正温度系数热敏电阻(PTC)。这两种热敏电阻的特性及应用可参考第一章有关内容。

二、热敏三极管

热敏三极管也叫热敏晶体管,是一种新型的半导体热敏器件,它是利用晶体管基极与发射极之间的电压来检测温度,可用于电冰箱、空调器、电饭锅、洗碗机等家用电器中。

在摩托罗拉公司生产的 MTS 系列中,有 MTS102、MTS103、MTS105 三种型号,都是典型的热敏三极管产品。它们在电路中工作时,集电极电流一般稳定在 0.1mA 。对温度检测后的输出值是以热敏三极管的基极与发射极之间电压的变化量来反映的。被检测的温度增大时,热敏三极管的基极与发射极之间的电压随之变小。

用热敏三极管检测温度的采样电路如图 11-13 所示。由于热敏三极管输出的基极与发射极之间的电压很小,所以需要对它进行放大,然后才能送到比较环节去处理。三端稳压器 7812 用于电路的供电,集成运算放大器 LM324 用于放大信号。图中 RP_1 为上限温度调节电阻, RP_2 为下限温度调节电阻, R_i 为热敏三极管 MTS102 提供约为 0.1mA 的恒定电流。

被测温度经 MTS102 检测后输出与该温度相对应的电压,这个电压被送入电压跟随器 A,进行阻抗变换。最后经比较器 B 比较后,输出随温度变化的误差电压。

三、热电偶

热电偶是一种测温传感器,它的测量温度范围一般为 $-50^\circ\text{C} \sim +160^\circ\text{C}$,最高的可达 2800°C ,并有较好的测量精度,热电偶已标准化、系列化,易于选购,它主要用于工业测温。

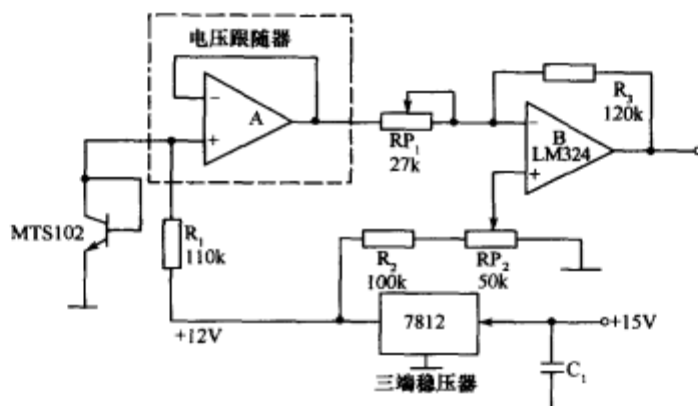


图 11-13 由热敏三极管组成的温度检测电路

1. 热电偶的工作原理

两种不同的导体 A 与 B 在一端熔焊在一起称为热端(或测温端),另一端接一个灵敏的电压表,接电压表的这一端称为冷端(或称参考端)。当热端与冷端的温度不同时,回路中将产生电势,如图 11-14 所示。

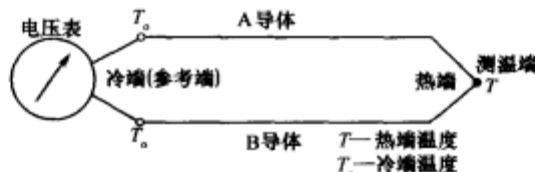


图 11-14 热电偶的基本工作原理示意图

该电势的方向和大小取决于两导体的材料种类及热端和冷端的温度差(T 与 T_0 的差值),而与两导体的粗细、长短无关,这种现象称为物体的热电效应。为了正确地测量热端的温度,必须确定冷端的温度,目前统一规定冷端的温度 $T_0 = 0^\circ\text{C}$,但实际测温时要求冷端保持在 0°C 的条件是不方便的,希望在室温的条件下测量,这就需要加冷端补偿。热电偶测温时产生的热电势很小,一般需要用放大器放大。

在实际测量中,冷端温度不是 0°C ,会产生误差,可采用冷端补偿的方法进行自动补偿。冷端补偿的方法很多,这里仅介绍一种采用 PN 结温度传感器作冷端补偿的方法,如图 11-15 所示。

热电偶产生的电势经放大器 A_1 放大后有一定的灵敏度($\text{mV}/^\circ\text{C}$),采用 PN 结温度传感器与测量电桥检测冷端的温度,电桥的输出经放大器 A_2 放大后具有与热电偶放大后相同的灵敏度。将这两个放大后的信号电压再输入增益为 1 的差动放大器电路,则可以自动补偿冷端温度变化所引起的误差。

在 0°C 时,调 RP ,使 A_2 输出为 0V ,调 R_{F2} ,使 A_2 输出的灵敏度与 A_1 相同即可。一般在 $0\sim 50^\circ\text{C}$ 范围内,其补偿精度优于 0.5°C 。

常用的热电偶有 S、B、K、T、E、J、R 等 7 种,在这些热电偶中,K 型热电偶(测温为 $-160^\circ\text{C}\sim 1200^\circ\text{C}$)应用最广,这是因为热电势率较高,特性近似线性,性能稳定,价格便宜,测温范围适合大部分工业温度范围。

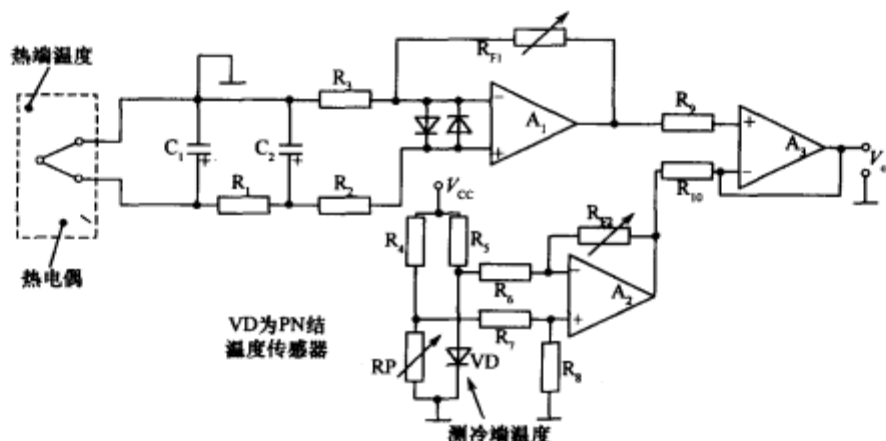


图 11-15 冷端补偿

2. 热电偶的应用

热电偶是一种特殊的传感器,它工作时相当于电源,并且具有一定的带负载能力。因此有足够大的温差时,它能驱动某些制造精密的电动部件,例如:在常用的燃气热水器中,正常情况下,点火器点火后加热热电偶头部,数秒钟后热电偶即产生一定电能(电压约 $25\text{mV} \sim 35\text{mV}$, 电流约 $0.03\text{mA} \sim 0.05\text{mA}$),电流通过电磁阀门内的电磁铁线圈并产生吸引力(吸力约 0.7kg),牵动圆形衔铁,从而打开橡胶燃气阀门。此阀门一经打开,即能维持常明小火稳定燃烧和点燃主燃烧器。如果火种熄灭,则阀门关闭。这个控制装置可完成熄火保护任务。图 11-16 是燃气热水器中电热偶和电磁阀的结构图。

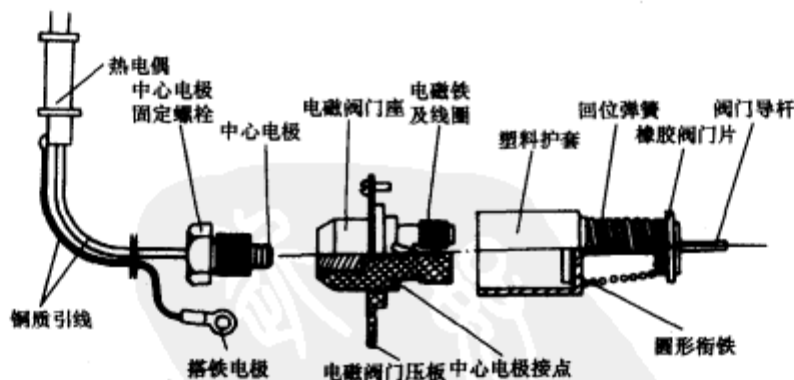


图 11-16 热电偶和电磁阀的结构

3. 热电偶的检测

检测电磁阀好坏的方法是:打开燃气热水器外壳,拆下热电偶中心电极固定螺栓,用万用表测量电磁阀门座内中心电极接点与外壳之间的电阻(即电磁铁线圈的电阻),正常值为 0.1Ω 左右,阻值较大则为线圈锈蚀或开焊,应卸下压板,取出电磁阀检修,如测量后,电阻正常则为热电偶失效,用万用表测量热电偶两电极之间的电阻,正常值也为 0.1Ω 左右(失效的热电传感器内阻通常较大)。

四、热释电温度传感器

采用热释电人体红外传感器制造的被动红外探测器,在自动门、自动灯及高级光电玩

具中应用十分广泛,下面简要进行介绍。

1. 什么是热释电效应

某些强介电质材料,如钛酸钡、钽酸锂、锆钛酸铅等晶体,若使它们的表面温度发生改变,随着温度的上升或下降,这些物质的表面上就会产生电荷的变化,这种物理现象就叫热释电效应。

2. 热释电温度传感器的组成

一般热释电人体红外传感器都采用差动平衡结构,由敏感元件、场效应管、高阻值电阻等组成,如图 11-17 所示。其中图(a)为内部结构图,图(b)为内部电气连接图。

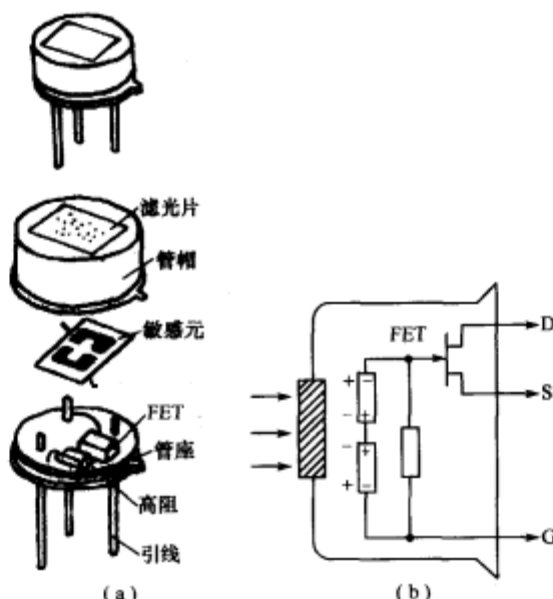


图 11-17 热释电人体红外传感器的结构

1) 敏感元件

敏感元件是用热释电人体红外材料(通常是锆钛酸铅)制成的,先把热释电材料制成很小的薄片,再在薄片两面镀上电极,构成两个串联的有极性的小电容。将极性相反的两个敏感元件做在同一晶片上,是为了抑制由于环境与自身温度变化而产生热释电信号的干扰。而热释电人体红外传感器在实际使用时,前面要安装透镜,通过透镜的外来红外辐射只会聚在一个敏感元件上,它所产生的信号不会被抵消。

热释电人体红外传感器的特点是,它只在由于外界的辐射而引起本身的温度变化时,才给出一个相应的电信号,当温度的变化趋于稳定后就再没有信号输出,所以说热释电信号与它本身的温度的变化率成正比,或者说热释电红外传感器只对运动的人体敏感。因此,可应用在探测人体移动的报警电路中。

2) 场效应管和高阻值电阻 R_g

通常敏感元件材料阻值高达 $10^{13} \Omega$,因此,要用场效应管进行阻抗变换,才能实际使用。场效应管常用 2SK303V3、2SK94X3 等来构成源极跟随器,高阻值电阻 R_g 的作用是释放栅极电荷,使场效应管正常工作。一般在源极输出接法下,源极电压约为 $0.4V \sim 1.0V$ 。通过场效应管,传感器输出信号就能用普通放大器进行处理。

3) 滤光窗

热释电人体红外传感器中的敏感元件是一种广谱材料,能探测各种波长辐射。为了使传感器对人体最敏感,而对太阳、电灯光等有抗干扰性,传感器采用了滤光片作窗口,即滤光窗。滤光窗能有效地让人体辐射的红外线通过,而阻止太阳光、灯光等可见光中的红外线通过,免除干扰。所以,热释电人体红外传感器只对人体和近似人体体温的动物有敏感作用。

4) 菲涅尔透镜

人体所放射的远红外线能量是十分微弱的,直接由红外热释电传感器接收,灵敏度很低,控制距离一般只有 1m~2m,远远不能满足要求。为此,专门设计了一种由塑料制成的特殊光学系统——菲涅尔透镜,用它把微弱的红外线能量进行“聚焦”,可以把传感器的探测距离提高到 10m 以上。菲涅尔透镜是一种用聚乙烯注塑成的薄镜片,里面有精细的镜面和纹理,对红外线的透射率高于 65%。菲涅尔透镜与红外热释电传感器之间的距离应该与透镜的焦距相等。菲涅尔透镜呈圆弧状,透镜焦距正好对准敏感元件中心。透镜的镜面和纹理可以使移动物体或人体发射的红外线进入透镜时,产生一个交替的“盲区”和“高灵敏区”,形成光脉冲。由于透镜由很多盲区及高灵敏区组成,将把一系列的光脉冲送入传感器,大大提高了接收灵敏度。

2. 热释电红外控制器及其应用

下面以热释电红外控制器 S9803 为例进行介绍。

S9803 是专为热释电红外传感器配套设计的集成电路,采用 CMOS 工艺制造,具有性能指标高、一致性好、外围电路简单、安装调试方便等优点,是目前同类产品中功能较为齐全的器件。

S9803 的突出特点:①灵敏度高,内置两级增益可调运放电路及温度补偿电路,这种电路能抑制如热气团流所产生的红外干扰,误报率低,探测距离达 10m 以上。②控制时间可调。③输出可驱动晶闸管或继电器。④内置稳压 3.1V,可直接驱动 PIR。⑤外接 CDS 传感器,白天抑制输出。⑥工作电压 4.0V~5.5V,工作电流 1mA。⑦对于交流供电的控制电路设计有过零检测控制,使被控负载的接通与断开均处于交流电的过零点,这不仅可以减弱对负载的电流冲击,同时也消除了开关器件对电源的干扰,降低对电源的污染。

S9803 采用标准的 DIP16 脚塑封,其引脚排列如图 11-18 所示。

各管脚功能如下:1 脚为运放输出 1;2 脚为运放正输入 1;3 脚为运放负输入 1;4 脚为参考电压;5 脚为地;6 脚为系统时钟;7 脚为测试;8 脚为定时时钟;9 脚为 CDS 检测;10 脚为输出驱动晶闸管;11 脚为输出驱动继电器;12 脚为过零检测;13 脚为电源;14 脚为运放负输入 2;15 脚为运放正输入 2;16 脚为运放输出 2。

S9803 的典型应用如图 11-19(a)、(b)所示。图(a)是 S9803 驱动晶闸管电路,图(b)是 S9803 驱动继电器电路。

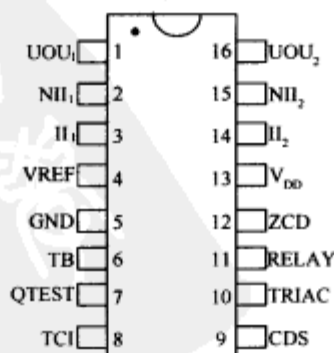
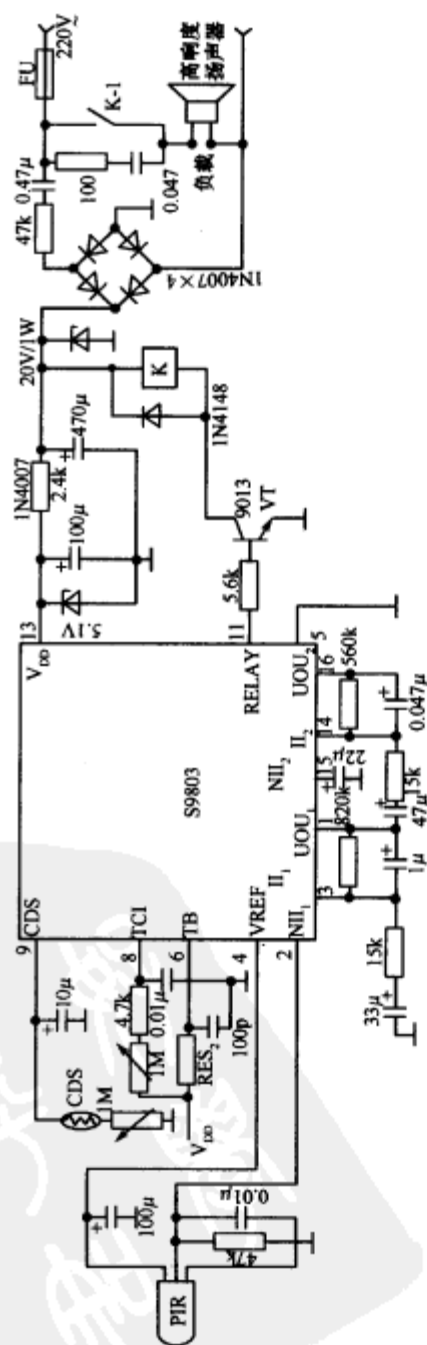


图 11-18 S9803 引脚排列

图11-19 S9803的应用电路



工作原理是:接通电源后,电路即处于开机延时阶段,PIR 传感头加电预热 45s,延时结束,电路进入自动检测状态。如果有人进入探测区,人体红外线被 PIR 传感器探测到,输出幅度约 1mV、频率在 3Hz~7Hz 的微弱信号,此信号经一组高频滤波和阻抗匹配网络,馈入控制电路输入端,微弱信号由 IC 内部的一系列电路处理,最后驱动晶闸管或继电器,达到人体自动控制式防盗报警的目的。

S9803 的光控器可使电路在一定光照下才有传感动作,而在足够亮度时闭锁输出,以实现只有在夜晚才工作的功能。S9803 的 6 脚所接 R、C 决定 IC 内部时钟 $f = (1 \pm 20\%) / 1.1RC$ 。TRIAC 触发时间宽度为 $2/f$ 。8 脚所接 RC 决定 IC 内部定时器的周期,调节 R、C 可调整输出控制的时间长短。

由于 S9803 是一种性能优良、外围元件少、扩展应用极强的产品,适用于企业、宾馆、商场、库房的安全系统或自动灯光系统。

第六节 湿敏传感器

湿度反映大气干湿的程度,测量环境湿度对工业生产、天气预报、食品加工等非常重要。湿敏传感器是对环境相对湿度变化敏感的元件,下面分类介绍两种常见湿敏传感器。

一、氯化锂湿敏电阻

氯化锂湿敏电阻器通常由感湿层、金属电极、引线、衬底基片和氯化锂胶膜组成,构造示意图如图 11-20 所示。

氯化锂胶膜涂敷在图 11-20 所示的一对梳状金属电极间的基片上,由于氯化锂极易吸收空气中的水分而潮解,电离出正、负离子,随着离子浓度的增加,盐胶膜导电性能增强,两个电极之间的电阻值也越小,反映出环境相对湿度与电阻值的相关性。氯化锂湿敏电阻器结构简单,容易制造,滞后小,精度高($\pm 5\%$)。

二、半导瓷湿敏电阻

在家电产品中,常使用半导瓷湿敏器件进行湿度检测。这种湿敏器件主要由金属氧化物半导体制成,典型的是多孔陶瓷湿敏器件,具有测量湿度范围大、响应迅速、工作稳定的特点,它的另一个优点是电阻率能在很大范围内随湿度的变化而变化,是目前应用比较广泛的一种湿度传感器。

半导瓷湿敏传感器种类较多,按阻值随温度变化的特性区分,有正系数和负系数两种,在实际应用中,使用较多的是 ZHC 系列湿敏传感器,属负温度系数湿敏传感器。ZHC 系列湿敏传感器有两种型号:ZHC-1 型,外形为长方体;ZHC-2 型,外形为圆柱体。如图 11-21 所示。

ZHC 湿敏传感器具有体积小、重量轻、灵敏度高、湿度量程宽、温度系数小、耐高温、使用寿命长等特点。ZHC-1 型湿敏传感器的外壳采用耐高温塑料制成,价格较便宜,适用于家用电器(加湿器、去湿机、空调机、录像机)作湿度测量和控制用。ZHC-2 型湿敏传感器的外壳用铜材制成,因此可在各种仓库、蔬菜大棚、纺织车间,以及电力开关中作测湿及控湿用。



图 11-20 湿敏传感器的结构

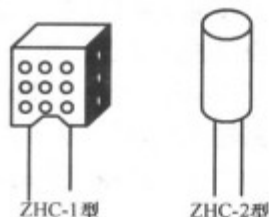


图 11-21 ZHC 湿敏传感器的外形

ZHC 湿敏传感器以多孔电子陶瓷为基体,装置金属电极,引出导线,然后封装在耐高温塑壳(ZHC-1 型)或多孔防尘铜外壳(ZHC-2 型)中制成。其电阻值能随周围环境湿度变化而变化。如湿度 30°C 时,电阻值约 $2.2\text{M}\Omega$ 左右;温度为 20°C 时,电阻值增大为 $4\text{M}\Omega$ 左右。利用这一特性加以适当电路可做成湿度变送器和湿度开关,对某一空间的相对湿度进行测量和控制。

第七节 声敏传感器

最常见的声敏传感器莫过于传声器(话筒),它能够把人耳听到的声波($20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$)转变为电信号,比如监测环境的噪声计。 20kHz 以上的声波称之为超声波,由于其频率高,波长短,使超声波具有直线传播和发生反射现象,常用于超声波测距、测量厚度、无损探伤检测、医学扫描成像等,压电式超声波传感器又称为超声波换能器或超声波探头,在超声波技术中得到广泛的应用。

在生活中常见的声控钥匙链,只要吹声口哨或者拍一声巴掌,在 $4\text{m}\sim 5\text{m}$ 距离内的声控钥匙链就会发出声音,帮助寻找和发现钥匙。声控钥匙链是声音的接收装置,用压电陶瓷片作为声敏传感器。图 11-22 为声控钥匙链实验电路,它包括声敏传感器件 BZ、复合管前置放大电路、电压放大电路、倍压检波电路、三极管开关电路、讯响电路和电源 GB。

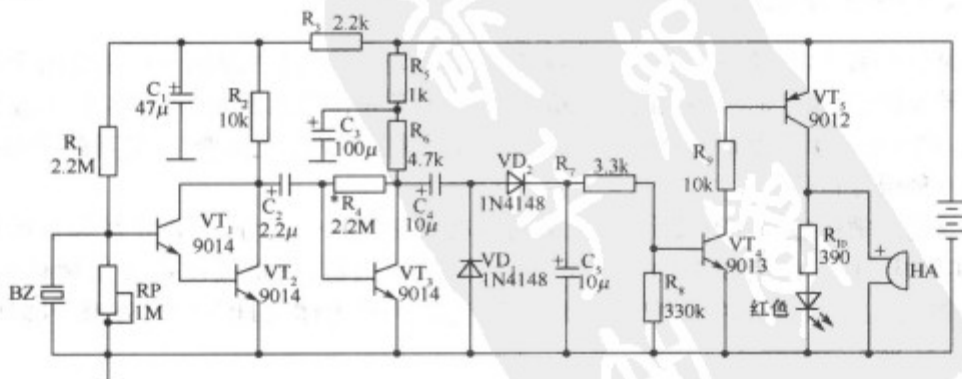


图 11-22 声控钥匙链电路

BZ 采用直径 27mm 的压电陶瓷片,把声音信号转变为电信号。前置放大器由接成复合管的三极管 VT_1 、 VT_2 等组成,其中 R_1 为复合管的上偏置电阻,下偏置用电位器 RP 来调节复合管的工作点, R_2 为复合管的负载电阻器, R_3 、 C_1 组成电源去耦回路,防止电路

自激振荡。由于压电陶瓷式声敏传感器内阻较高,其输出微弱的音频信号加至输入阻抗较高的复合管基极,前置放大器可以获得高增益。电压放大器由三极管 VT_3 等组成,采用电压负反馈式偏置电路, R_4 为偏置电阻器。由前置放大器输出的音频信号经耦合电容器 C_2 输入到 VT_3 的基极,在集电极负载电阻器 R_5 上输出放大后的信号电压, R_5 、 C_3 为电压放大级的电源去耦电路。检波电路由耦合电容器 C_4 、用作检波的二极管 VD_1 和 VD_2 以及滤波电容器 C_5 组成。当 VT_3 集电极输出的音频信号为负半周时,通过 VD_1 向 C_4 充电,音频信号为正半周时,通过 C_4 、 VD_2 向 C_5 充电,由于音频信号正半周电压与 C_4 上已充的电压相加, C_5 充至接近 2 倍音频信号峰值的直流电压。由三极管 VT_4 、 VT_5 等组成开关电路,电阻器 R_7 具有延缓 C_5 向 VT_4 基极放电的时间, R_8 为 VT_4 下偏置电阻器,具有泄放 C_5 残存电荷的作用,使 VT_4 可靠截止。 VT_5 负载接有红色发光二极管及其限流电阻器 R_{10} 以及蜂鸣 HA,组成讯响电路。

当压电式声敏传感器 BZ 接收到声音信号时,通过放大、检波电路,在 C_5 上产生正向偏压,达到 0.7V 时, VT_4 导通,其集电极电流也是 VT_5 基极电流,导致 VT_5 也导通,红色发光二极管点亮,蜂鸣器 HA 发出音频叫声,控制声音信号消失后, C_5 的电荷逐渐被泄光, VT_4 截止,讯响电路停止工作。

重点提示:实验电路中, $VT_1 \sim VT_3$ 选用低噪声高增益三极管 9014, VT_4 用 9013, VT_5 用 PNP 型三极管 9012。若用面包板搭接电路时,由于放大电路有上万倍的增益,每一级电路要集中在一起,各级之间保持一定距离,防止不良反馈产生振荡。

调试电路时,蜂鸣器发声时会反馈到声敏传感器 BZ,引起实验电路啸叫不止,需要暂时去掉 HA,或者用导线延至几米之外,用纸盒扣起来减少音量。电路需要调试工作点才能正常工作,调节电位器 RP 将 VT_2 集电极与发射极之间的电压 V_{CE} 调至 2V~3V。 VT_3 集电极电位为 3V 左右,若相差太多需要更换 R_4 。电源 GB 电压为 6V 时,电路静态工作总电流不超过 1.5mA,收到声音信号时,总电流升至 30mA。检测电路时,在 5m 范围内拍一下巴掌,讯响电路发光、发声 1s~2s,模拟声控钥匙链电路实验成功。需要说明的是,图中电路没有选频功能,不能区分掌声、蜂鸣器叫声甚至轻微的振动,作为实验电路,主要用来了解声敏传感器的组成和工作原理,体验“电子耳”的传感功能。

第八节 电感式传感器

电感式传感器是一种利用被测量的变化引起线圈互感、电感量改变的传感器,主要用于位移测量以及引起位移相关的变化量,如压力、加速度、振动、应变、液位等的测量。下面以金属探测器电路为例,说明电感式传感器的应用。

图 11-23 为金属探测传感器实验电路,由三极管 VT_1 和 高频变压器 B 等组成高频振荡器,由三极管 VT_2 、VD 等组成振荡检测器,由 VT_3 、电压表 PV 组成射随输出及显示电路。

一、高频振荡器

图 11-23 中电路左半部分为高频振荡器,采用变压器反馈型 LC 振荡器,在高频变压器 B 中,初级线圈 L_1 与电容器 C_1 组成并联 LC 谐振回路,谐振频率约 200kHz。 L_1 绕线

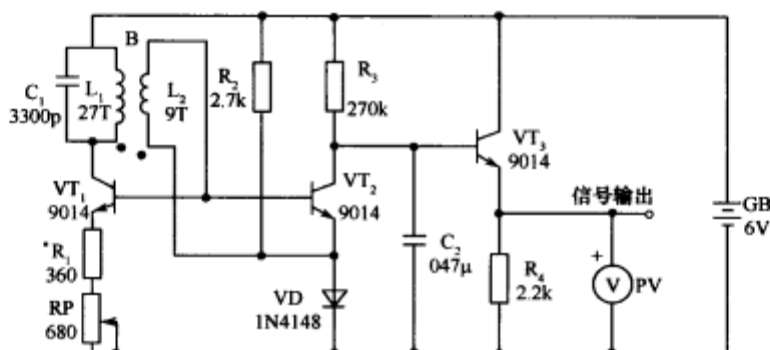


图 11-23 金属探测传感器实验电路

方向首端(标有黑点)接振荡管 VT_1 集电极,尾端接电源正极。次级线圈 L_2 作为反馈线圈,首端通过正向偏置的二极管 VD 接地,尾端接 VT_1 的基极。振荡管 VT_1 放大后的高频信号经 B 耦合回基极,形成正反馈而产生高频自激振荡,在集电极 LC 谐振回路中产生振荡电流。 R_2 为 VD 限流电阻器,在 VD 上产生 0.7V 恒定电压,通过 L_2 为 VT_1 提供基极偏置电压。 VT_1 发射极与地之间接有射极负反馈电阻器 R_1 和增益调节电位器 RP 。高频变压器 B 用标称直径 0.315mm~0.355mm 的漆包线在直径 120mm 圆筒上绕制,初级线圈 27 匝,次级线圈 9 匝。

二、振荡检测器及射随输出电路

图 11-23 中电路右半部分为振荡检测器。在开关电路中, VT_2 的基极与次级线圈 L_2 尾端相连,当高频振荡器振荡时,经 B 耦合过来的振荡信号,正半周使 VT_2 导通, VT_2 集电极输出低电平,经旁路电容器 C_2 滤去高频成分,直流电压加在射随三极管 VT_3 的基极,在射随输出负载电阻器 R_4 上得到低电平信号输出,电压表读数约 0.1V。当高频振荡器停振时, VT_2 基极无高频信号输入,并被 VD 反向偏置, VT_2 处于截止状态,高电平加在 VT_3 基极,发射极输出高电平信号,电压表读数升至 4V 左右,由此完成对振荡器工作状态的检测和显示。

三、金属探测原理

调节高频振荡器增益电位器 RP ,恰好使振荡器起振,此时电压表读数跌至 0.1V,否则需要增减 R_1 的电阻值。当探测线圈 L_1 靠近金属物体时,由于电磁感应,在金属中产生涡电流,使振荡回路能量损耗增大,正反馈减弱,处于临界态的振荡器无法维持振荡所需的最低能量而停振。信号输出端连接的检测电压表升至 4V,或将信号输出端接入讯响器电路接口,用耳机监听声音有无变化,就可以探测金属物体的存在。

金属探测器有较高的灵敏度,并可以透过非金属物体探测到被遮盖的金属物体,比如装修房屋时,用它探测墙内的电线或钢筋,以免造成施工危险和安全隐患,又如安全检查用的金属探测器就是根据这个原理制成的,这种“透视眼”是人的感官力所不及的。

第十二章 显示器件的检测

目前,国内外生产的显示器件种类繁多,型号和性能各异,本章重点分析了在家用电器和电子设备中应用较多的 LED 数码管、彩色显像管、示波管、真空荧光显示屏、电致发光板、液晶显示屏和等离子显示屏等几种最为常见的显示器件,供维修和代换时参考。

第一节 LED 数码管的识别与检测

LED 数码管是一种常用的数显器件。把发光二极管制成条状,再按照一定方式连接,组成数字“8”,就构成 LED 数码管。使用时按规定使某些笔段上的发光二极管发光,即可组成 0~9 的一系列数字。

一、LED 数码管的结构和原理

LED 数码管分共阳极与共阴极两种,内部结构如图 12-1(a)、(b)或(c)所示。

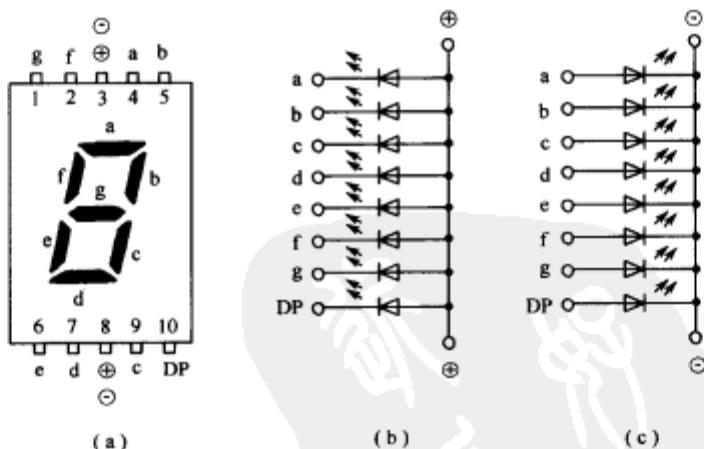


图 12-1 LED 数码管的构造

a~g 代表 7 个笔段的驱动端,亦称笔段电极。DP 是小数点。第 3 脚与第 8 脚内部连通,⊕表示公共阳极,⊖表示公共阴极。对于共阳极 LED 数码管(如图(b)所示),将 8 只发光二极管的阳极(正极)短接后作为公共阳极。其工作特点是,当笔段电极接低电平,公共阳极接高电平时,相应笔段可以发光。共阴极 LED 数码管则与之相反,它是将发光二极管的阴极(负极)短接后作为公共阴极。当驱动信号为高电平、负端接低电平时,才能发光。

LED 的输出光谱决定其发光颜色以及光辐射纯度,也反映出半导体材料的特性。常见管芯材料有磷化镓(GaP)、砷化镓(GaAs)、磷砷化镓(GaAsP)、氮化镓(GaN)等,其中氮化镓可发蓝光。发光颜色不仅与管芯材料有关,还与所掺杂质有关,因此用同一种管芯

材料可以制成发出红、橙、黄、绿等不同颜色的数码管。LED 数码管的产品中,以发红光、绿光的居多,这两种颜色也比较醒目。

LED 数码管等效于多只具有发光性能的 PN 结。当 PN 结导通时,依靠少数载流子的注入及随后的复合而辐射发光,其伏安特性与普通二极管相似。在正向导通之前,正向电流近似于零,笔段不发光。当电压超过开启电压时,电流就急剧上升,笔段发光。因此,LED 数码管属于电流控制型器件,使用 LED 数码管时,工作电流一般选 10mA 左右/段,既保证亮度适中,又不会损坏器件。

二、LED 数码管的分类

目前国内外生产的 LED 数码管不仅种类繁多、型号各异,大致有以下几种分类方式:

1. 根据显示位数划分

根据器件所含显示位数的多少,可划分成一位、双位、多位 LED 显示器。一位 LED 显示器就是通常说的 LED 数码管,两位以上的一般称作显示器。双位 LED 数码管是将两只数码管封装成一体,其特点是结构紧凑、成本较低(与两只一位数码管相比)。国外典型产品有 LC5012-11S(红双、共阴极),管脚排列如图 12-2 所示。

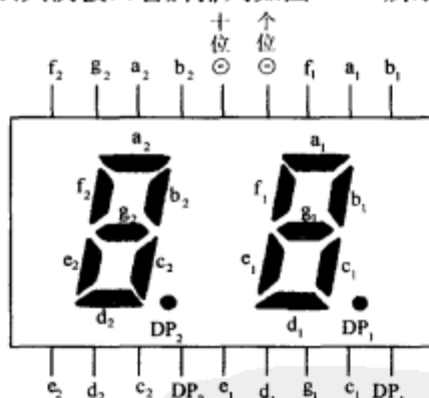


图 12-2 双位数码显示器

为简化外部引线数量和降低显示器功耗,多位 LED 显示器一般采用动态扫描显示方式。其特点是将各位同一笔段的电极短接后作为一个引出端,并且各位数码管按一定顺序轮流发光显示,只要位扫描频率足够高,就观察不到闪烁现象。

2. 按字形结构划分

按字形结构划分,有数码管、符号管两种。常见符号管的外形如图 12-3 所示。

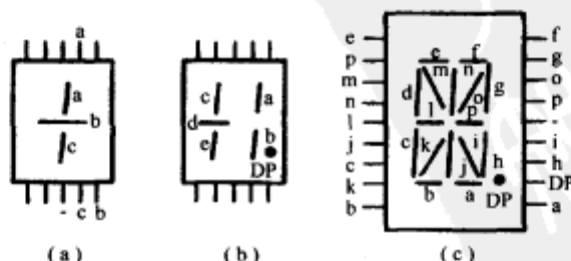


图 12-3 LED 符号管外形

其中,“+”符号管可显示正(+)、负(-)极性,±1 符号管能显示+1 或-1。“米”字管的功能最全,除显示运算符号+、-、×、÷之外,还可显示 A~Z 共 26 个英文字母,常用作单位符号显示。

三、LED 数码管的性能特点

LED 数码管的主要特点如下:

- (1)能在低电压、小电流条件下驱动发光,能与 CMOS、TTL 电路兼容。
- (2)发光响应时间极短($<0.1\mu\text{s}$),高频特性好,单色性好,亮度高。
- (3)体积小,重量轻,抗冲击性能好。
- (4)寿命长,使用寿命在 10 万 h 以上,甚至可达 100 万 h。成本低。因此它被广泛用作数字仪器仪表、数控装置、计算机的数显器件。

四、LED 数码管的检测

LED 数码管外观要求颜色均匀、无局部变色及气泡等,在业余条件下可用干电池作进一步检查。检测共阴数码管电路如图 12-4 所示。

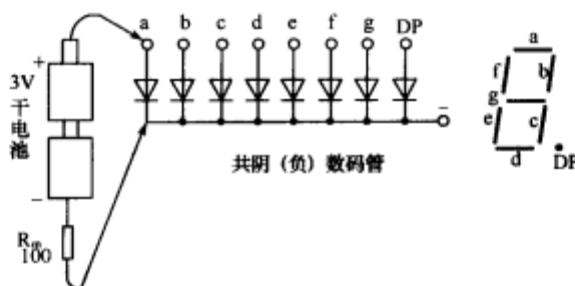


图 12-4 LED 数码管的检测

将 3V 干电池负极引出线固定接触在 LED 数码管的公共负极端上,电池正极引出线依次移动接触笔画的正极端。这一根引出线接触到某一笔画的正极端时,那一笔画就应显示出来。

用这种方法就可检查出数码管是否有断笔(某笔画不能显示),连笔(某些笔画连在一起),并且可相对比较出不同笔画发光的强弱性能。

若检查共阳极数码管,只需将电池正负极引出线对调一下,方法同上。

利用数字万用表的 h_{FE} 插口能够方便地检查 LED 数码管的发光情况。选择 NPN 挡时,C 孔带正电,E 孔带负电。例如检查 LTS547R 型共阴极 LED 数码管时,从 E 孔插入一根单股细导线,导线引出端接负极(第 3 脚与第 8 脚在内部连通,可任选一个作为负);再从 C 孔引出一根导线依次接触各笔段电极,可分别显示所对应的笔段。若按图 12-5 所示电路,将第 4、5、1、6、7 脚短路后再与 C 孔引出线接通,则显示数字“2”。把 a~g 段全部按 C 孔引线,就显示全亮笔段,构成数字“8”。

五、注意事项

- (1)检查时若发光暗淡,说明器件已老化,发光效率太低。如果显示的笔段残缺不全,

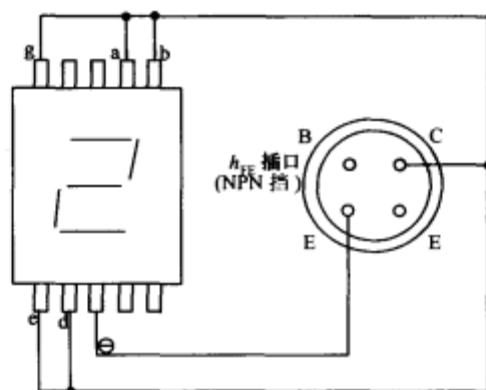


图 12-5 共阴极 LED 数码管的检测

说明数码管已局部损坏。

(2) 对于型号不明、又无管脚排列图的 LED 数码管,用数字万用表的 h_{FE} 挡可完成下述测试工作:

①判定数码管的结构形式(共阴或共阳);

②识别管脚;

③检查全亮笔段。预先可假定某个电极为公共极,然后根据笔段发光或不发光加以验证。当笔段电极接反或公共极判断错误时,该笔段就不能发光。

(3) LED 数码管每笔画工作电流约在 $5\text{mA} \sim 10\text{mA}$ 之间,若电流过大会损坏数码管,因此必须加限流电阻。

第二节 彩色显像管的识别与检测

自然界里的绝大多数彩色光都可由红、绿、蓝三种基色光相加或相减而成。人们只要将这三种基色光按一定的比例进行调配,就能得到所期望的各种彩色光。例如红光和绿光混合可得黄光;红光和蓝光混合可得紫光;蓝光和绿光混合可得青光等。这就是三基色原理,彩色显像管就是根据这种原理研制设计的。

一、彩色显像管的分类及特性

彩色显像管是彩色电视接收机的重要部件,它是重显彩色图像的关键。彩色显像管的型号较多,但主要可分为三枪三束、单枪三束和自会聚彩色显像管。

1. 三枪三束彩色显像管

三枪三束彩色显像管发明于 20 世纪 50 年代初,又叫荫罩管,它由荧光屏、电子枪及玻璃外壳三部分组成。

1) 荧光屏

荧光屏的作用是重显三基色彩色图像,在荧光屏的内壁上涂有红(R)、绿(G)、蓝(B)三种荧光粉小圆点,这三种荧光粉相互交错地排列成点字形,每三个(红、绿、蓝)小圆点组成一个像素,密集地布满整个屏面,每个荧光粉小圆点的直径约 0.3mm 。由于荧光粉小圆点很小,排列很紧密,加上人眼的分辨能力有限,这样人们所感觉到的不是每个荧光粉

小圆点的个别颜色,而是红、绿、蓝三种荧光粉相加混合成的彩色。通常要清晰地反映一幅彩色图像,需要 40 万个~50 万个像素。假如屏幕上需要有 40 万个像素的话,就要有 120 万个荧光粉小圆点才行。荧光粉点越多,图像看上去越清晰。但是粉点增加过多,效果并不明显,反而在制造工艺上带来很多困难。

在距离荧光屏内表面 10mm 左右的地方安装有荫罩,荫罩又叫分色板。如图 12-6 所示。

荫罩是由厚度为 0.15 毫米的薄钢板制成,上面有规律地排列着数十万个小圆孔。荫罩上每个小圆孔对应于荧光屏上红、绿、蓝三个荧光点,故荫罩上小圆孔的数目为荧光屏上荧光粉点总数的 1/3。由于荫罩板的存在,可使红、绿、蓝三电子束从不同角度同时在荫罩孔处相交并通过,然后分别打在相应的荧光粉点上。所以,荫罩板起到了分色作用。

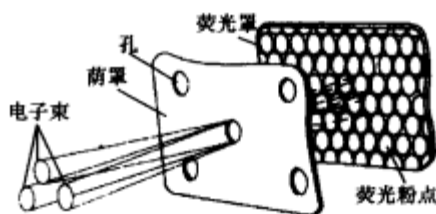


图 12-6 荫罩的结构

荫罩有两项重要技术指标:

(1)分辨率,即图像的清晰度。它与荫罩板上小圆孔数目的平方根成正比。孔数越多,组成图像的彩色小单元(即像素)越多,图像越清晰。但是,随着荫罩孔数目的增加,给制造荫罩和涂覆荧光粉带来很多困难。所以设计时要综合考虑。

(2)透过率,即电子穿过荫罩板小孔打在荧光屏上的百分率,为单位面积上荫罩孔所占面积与单位面积之比。透过率越高,电子的利用率也越高,图像就越高。提高透过率有两个途径,一是增加荫罩孔的数目,这是有限度的,因为随着荫罩孔增多,孔与孔之间的节距也越小,二是增大荫罩孔的孔径。但是孔径太大时容易产生混色现象。一般要求孔径应小于荧光粉小圆点的直径。设计时应将亮度和色纯度综合起来考虑。

2) 电子枪

三枪三束彩色显像管有红、绿、蓝三支独立的电子枪,它的任务是提供三束直径很细的电子流,故有三枪三束之称。三支电子枪围绕着管轴排列成正三角形(相隔 120°),其构造和尺寸完全相同。三支电子枪的灯丝并联在一起,灯丝电压一般为 6.3V,电流为 0.7A~0.9A。由于有荫罩小孔间隔的遮挡,彩色显像管只有 20%左右的电子通过荫罩孔打到荧光屏上,80%的电子能量被荫罩吸收使荫罩发热。

电子枪有以下主要技术指标:

(1)单束电流,即一支电子枪阴极所发射的电流,一般为 $200\mu\text{A}$ 左右。对于同一型号的显像管来说,单束电流大的比较好,可以提高屏幕的亮度。

(2)束截面,即打在荧光屏上电子束的尺寸。

(3)截止电压,即加速极在正常工作电压(200V~900V)下,当阴极电流为零时,阴极与调制极之间电位差的绝对值。一般在 80V~120V。必须正确地选定截止电压,以保证电子枪有合适的工作点,更重要的是三支枪的截止电压应一致,否则会引起图像颜色失真。

(4)调制量,即阴极从截止状态变化到正常工作状态时,阴极电压的变化量,通常为 20V 左右。此值小一些较好,这样可用较小的信号就能触发显像管正常工作。要求三个电子枪的调制特性要一致,否则也会使图像颜色失真。

3) 玻璃外壳

玻璃外壳包括管颈、锥体和屏面三部分。这三者连接为一个封闭外壳,由于管内是真空,玻璃表面积很大,故玻璃外壳应经得住很大的大气压力。锥体内外壁都涂有一层石墨导电层,内壁石墨导电层接高压阳极,由高压嘴引出。外壁石墨导电层一般是用套在锥体上的金属编织丝引出接电视机的公共地端。锥体内外石墨导电层互相绝缘,构成了一只几百皮法的电容,对阳极高压起滤波作用。

三枪三束彩色显像管虽然具有图像质量好、清晰度高的特点,但因为它的会聚电路复杂、成本高、调整和维修十分不便,所以目前家用彩电已不再使用这种管子。

2. 单枪三束彩色显像管

单枪三束彩色显像管是索尼公司于 20 世纪 60 年代发明的。图 12-7 为单枪三束彩色显像管的结构和工作原理示意图。

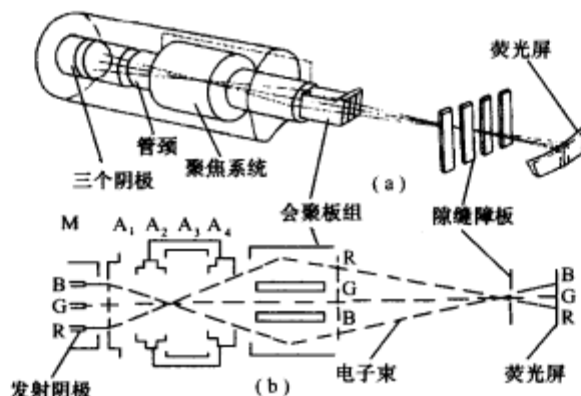


图 12-7 单枪三束彩色显像管

由图 12-7 可知,除了三个阴极是单独的并排在一条直线上外,调制极(M)、加速极A₁、电子聚集系统(A₂、A₃、A₄)和会聚系统等都是公用的。看上去像一支电子枪似的,故称之为单枪三束彩色显像管,简称单枪三束管。

它与荫罩管不同的地方:①单枪三束管的红、绿、蓝三种荧光粉以纵向条状涂覆在屏玻璃上。整个荧光屏上涂有几百组垂直三色荧光条。②单枪三束管的分色板由带有垂直隙缝的金属片制成,称为隙缝障板(或栅格式荫罩板),从这一点来看,单枪三束管显像管是荫栅式显像管。障板上每条垂直隙缝,对应于一组三色荧光条。隙缝的数目也是荧光条数目的 1/3。当红、绿、蓝三电子束同时在障板处相交时,只有扫描到隙缝处的电子才能穿过障板打到荧光屏上。由于障板上金属条与隙缝宽度尺寸之比为 4:1,故电子的透过率为 20%。因此,单枪三束管的透过率要比三枪三束管高。③单枪三束管以单的电子枪代替三支独立的电子枪,它有三个并排的阴极。因此电子束的聚焦过程与三枪三束管不同。由第二阳极(A₂与 A₄连在一起)和聚焦极(A₃)组成电子聚焦系统,当红、绿、蓝三电子束被加速极(A₁)从三个阴极上拉出来后,在聚焦系统的作用下,使两边的电子束首先向中心电子束偏转,并在公用聚焦极的中心点处相交。交叉后,两边的电子束又沿着其运行的惯性方向分开。然后,两边的电子束又在会聚电压与阳极电压形成的静电场作用下向中心电子束靠拢,最后会聚在障板隙缝处,并分别打在荧光屏各自对应的荧光条上。

从上述聚焦的过程可以看出,单枪三束管中间电子束(即绿电子束)不用调会聚,左

右两电子束(即红、蓝电子束)也只有水平方向出现打偏的情况。由于荧光条是垂直方向的,这样对垂直方向的会聚就要求很低,同时也不需要蓝束切线方向的调整机构。所以单枪三束管会聚调整比三枪三束管要简单。另外,电子透过率也比三枪三束管要高,所以屏幕亮度也高。以上是单枪三束管的主要优点。但是,单枪三束管的荧光屏面和障板都是圆柱面,柱面隙缝障板的强度差,制作也困难,不易大批生产,这是单枪三束管发展受限制的主要原因。目前,这种管子只多见于索尼公司生产的彩色电视机中。

3. 自会聚显像管

自会聚彩色显像管是 20 世纪 70 年代初期美国 RCA 公司研制的,它是在三枪三束管和单枪三束栅网管基础上发展而来的,它采用一体化电子枪结构,三个阴极构成精密一字形排列,荧光粉采用垂直条状结构,交错排列,这种管子电子枪结构特殊,与特殊的偏转线圈配合可实现自动会聚,省去了动会聚电路,无须会聚调整,使用起来和黑白显像管一样方便。因此,自会聚显像管在彩色电视机和显示器中得到了广泛的应用。

自会聚彩色显像管并不是单指显像管,而是显像管和与之配合的偏转线圈的总称,它的电子枪结构、分色板槽孔和荧光粉的排列方式都有自己的特点,它的偏转线圈是精密绕制的,能产生独特分布的偏转磁场,与显像管配合无须外电路就能实现动会聚,因此称为自会聚显像管。

1) 电子枪的结构特点

(1)三个阴极在水平方向按一字形排列,彼此间距很小。这种结构,由于三个阴极在同一水平面内,因而消除了垂直方向产生的会聚误差,只须进行水平方向的会聚调整。灯丝和阴极靠得很近,阴极的几何尺寸小,加热时间短,灯丝启动电流小,不用预加热电路,开机后能很快显像,五秒钟就可出现光栅,具有明显的优点。

(2)一体化电子枪结构除了三个独立的阴极之外,电子枪的控制栅极、加速阳极、聚焦极都是公用的,作成一体,并且在每个极上用冲压工艺开有三个小孔,精度高,使三支电子束之间的定位可以做得非常精确。三支电子束通过公共的控制栅极、加速级和聚焦极组成的大口径电子透镜聚焦,清晰度高。

(3)磁分路器和磁增强器在电子枪顶部装有四个高导磁率的屏蔽环,两个为一组,分别称为磁分路器和磁增强器,用来配合偏转线圈实现完全的自会聚。

2) 荧光屏和分色板的结构特点

荧光屏是球面的,以增强机械强度,但目前的荧光屏曲率半径很大,逐渐平面直角化。在屏幕的四周装有防爆箍,用来加强防爆性能。在荧光屏的内表面涂敷着红、绿、蓝三基色荧光粉。每个基色的荧光粉单元为槽形,三个垂直长方形槽构成一组,各组沿垂直方向互相交错排列。它的分色板开有槽形,如图 12-8 所示。

分色板的每一孔与荧光屏上一组三色荧光粉对准,这样电子束通过荫罩孔后,只能击中与之相对应的荧光粉,而电子束的其余部分则被荫罩子孔挡住,避免截面过大的电子束同时轰击别的荧光粉,引起彩色不纯。自会聚显像管分色板的这种结构即保持了单枪三束管条状栅

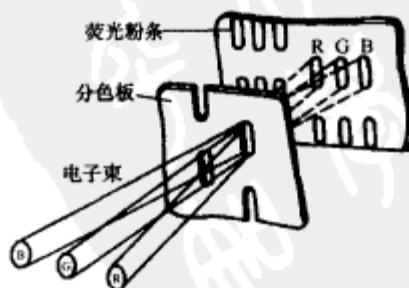


图 12-8 自会聚显像管的分色板

网板易于制作、电子透过率大的优点,又克服了条状栅格板机械强度差的缺点。而且这种结构的荧光屏,可以采用黑底管技术,即在荧光屏没有涂敷荧光粉的空隙处,涂上石墨等黑色吸收材料,吸收从管内或从管外射入的杂散光,以提高图像的对比度。而且涂黑后的荧光屏允许有较大的电子束通过,故槽形孔可以开大些,这样在图像亮度上比普通管还增加 30%。

在彩色显像管中,由于分色板的存在,使只有 30% 的电子能够击中荧光屏,而其他的大量电子则被分色板吸收,这会产生调射线辐射,并使分色板温度升高。温升有可能导致荫罩板变形,使局部图像彩色不纯,而且当阳极高压上升超过正常值时会增加调射线的辐射量,造成对人体的伤害,因此在彩色显示器中都设有调射线保护或高压保护电路。

3) 配合精密绕制的动会聚校正偏转线圈

自会聚显像管采用的是特制的环形精密偏转线圈,从结构上能产生条电子束动会聚所需要的会聚磁场,使三条电子束在整个荧光屏上自动会聚。所以这种偏转线圈称之为动会聚自校正型偏转线圈。这种线圈在生产时根据显像管的会聚要求,将线圈形状、匝数设计好,然后绕在预先刻槽的塑料环的沟槽内,塑料环再附着在铁氧体磁环上,所以磁场分布十分精确。绕成后将它固定在管颈上与显像管组成一个整体,配套供应,以后使用时一般不必再作会聚调整。

二、自会聚显像管的构造

自会聚显像管主要由玻璃外壳、电子枪和荧光屏三部分组成,外形和内部构造如图 12-9 所示。

1. 电子枪

电子枪用于产生受控电子束,并完成电子束的加速、聚焦等功能。它由灯丝、阴极、控制栅极、加速极、聚焦极和高压阳极构成。这些电极加上适当电压,电子枪就能发射一束聚焦良好的电子束,在阳极高压的作用下以极高的速度轰击屏幕上的荧光粉,使之发光。

自会聚显像管的电子枪结构如图 12-10 所示。

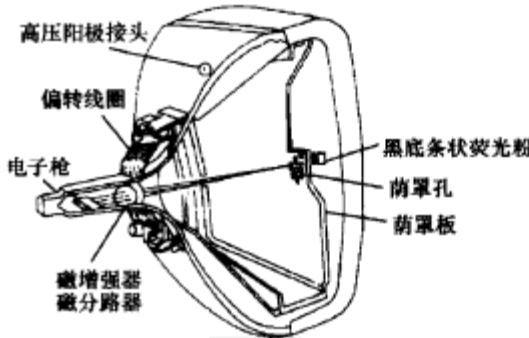


图 12-9 自会聚显像管的构造

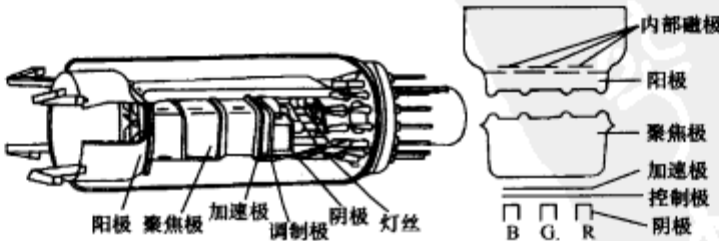


图 12-10 自会聚显像管的电子枪结构

电子枪各个电极的作用如下。

1) 灯丝

灯丝在电路中一般用 H、HT 或 F 表示,用于加热阴极。灯丝接上额定的交流或直流

电压,将会产生大电流而发热,从而加热阴极,使之发射电子。灯丝电压要求稳定,彩色显示器的灯丝电压一般由电源提供。有些由行脉冲电压提供,电压一般为 6.3V 或 12V。

2) 阴极

阴极在电路中一般用 K 表示。阴极是一镍制的小圆筒,其中一端开口,灯丝从开口端伸入筒内;另一端则封闭,在这一封闭端面的中心部位,涂有一小块金属氧化物,阴极被灯丝加热后,它上面的金属氧化物就会释放出大量电子,即发射电子。阴极上通常加 45V~180V 的正电压,对电子有吸引作用。阴极电压一般由电源提供。彩色显像管有三个阴极,分别用 RK(或 KR)、GK(或 KG)、BK(或 KB)表示。

3) 控制栅极

控制栅极在电路中一般用 G_1 表示,又称调制极(M),是套在阴极外面的一个金属圆筒,在封闭端的中心部位开有一个小圆孔(栅孔),让阴极发射的电子束通过,这个封闭端同阴极之间相距很近。对于彩色电视机,栅极一般接地,对于彩色显示器,栅极通常加有 0~-60V 的电压,用电位器或 CPU 调整负电压来控制通过的电子数目,用来控制显像管的亮度。显示器栅极负电压一般由行输出变压器提供。

从阴极发射出来的电子,聚集在栅、阴极附近,形成空间电荷区。由于栅极与阴极很近,故它们之间的电位变化对穿过栅孔的电子数量有很大影响,因此可以通过改变栅极与阴极之间的电压差来控制电子束电流的大小。阴极正电压越高,发射的电子束越弱,包含的电子数越少,显像管亮度越暗;反之,阴极正电压越低,电子束越强,显像管亮度越亮。同理,栅极负电压越大(远离 0V),发射的电子束越弱,显像管越暗;反之,栅极负电压越小(靠近 0V),电子束越强,显像管亮度越亮。当栅极电压与阴极电压差达到一定时,电子束就不能通过栅孔,即电子束被截止,图像的视频信号就是加在阴极或栅极上的,以此来控制电子束流大小,这一控制过程称为调制。被调制的电子束打击荧光屏,产生与信号幅度变化相对应的亮度变化,借助扫描,就能在荧光屏上形成图像。

4) 加速极(SCREEN)

加速极又称第一个阳极,在电路中一般用 G_2 表示。它是顶部开有小孔的金属圆筒,紧靠栅极。从阴极发射的电子,依靠阴极温度所获得的一点能量,还不足以远离阴极和栅极,而必须加一个正电场,以吸引这些电子,加速极就起到这种作用。加速极电压一般由行输出变压器产生,通过一电位器(一般与行输出变压器集于一体)加到显像管加速极上,加速极电压一般为几百伏。电压越高,显像管越亮。

5) 聚焦极(FOCUS)

聚焦极又称第三阳极,在电路中一般用 G_3 表示。虽然从栅极和加速极过来的电子一直在小孔中飞行,被限制在很小的范围内,但在以后的飞行中,又会因同性相斥而散开,若不加以控制,打在荧光屏上就不是很细的点,使图像模糊不清,为此在显像管中设置了聚焦极,它和其他极之间形成的特殊电场结构,迫使散开的电子向中间靠拢,使之到达屏幕时正好会聚成一点,提高图像的清晰度。彩色显像管聚焦极电压由行输出变压器产生,通过一电位器(与行输出变压器集于一体)加到显像管聚焦极上。电压一般为 5kV~8kV。

6) 高压阳极(H. V)

高压阳极(H. V)又称第二阳极和第四阳极,这两个阳极彼此相连,其上加有很高的

直流电压,高电压形成的电场加速飞行中的电子,赋予电子更大的能量,让电子着屏时,以巨大的动能激励荧光粉发光。从这个意义上说,第二、第四阳极是荧光粉得以发光的能量输送者。电子从进入第二阳极一直到打击荧光屏期间,都在高压电场的作用之下加速飞行,阳极高压的高低可影响到屏幕光栅的亮度及大小,阳极高压越高,电子的速度越快,屏幕也越亮,而且由于电子束的冲射速度大,因此在同样的偏转力作用下,偏转的角度小,显示的光栅也小;反之,阳极高压降低,屏幕亮度也下降,光栅尺寸也增大。

阳极高压由行输出变压器产生,通过显像管管壁上的高压插座加在内壁的导电石墨层上,然后再通过同石墨层相接触的簧片加到电子枪的第二、第四阳极。高压插座通常称为高压嘴。

一般中小屏幕显像管阳极高压一般在 $23\text{kV}\sim 27\text{kV}$,大屏幕显像管可高达 $27\text{kV}\sim 34\text{kV}$ 。显像管高压不可过高,过高则会造成显示器高压保护。

从电子枪发射出的电子束在内部电场的作用下沿着管轴方向径直击中屏幕的中心部位,因此要想形成图像,还必须使电子束偏转,形成扫描。它是用通电线圈产生的磁场来使电子束偏转的,这个偏转线圈套在玻璃外壳的管颈上。

彩色显像管灯丝、三个阴极、栅极、加速极、聚焦极是通过管座和各电路相连的。

2. 玻璃外壳

玻璃外壳呈漏斗状,玻璃壳内抽成真空,电子枪及其他零件均密封在里面。

3. 荧光屏

显像管荧光屏玻璃内壁涂一层荧光膜,受电子轰击而发光,发光颜色与荧光粉颜色有关,屏上荧光粉里面有一层很薄的铝膜,与显像管阳极相连,电子束很容易通过。

三、自会聚显像管的性能要求

1. 色纯度要好

色纯度是指单色光栅的纯净程度,也就是说,红、绿、蓝三支电子束应只分别击中与其相对应的荧光粉单元上,而不打到其他的荧光粉上。如果只让一支电子束工作,其余两支截止,则应出现与该电子束相应的单色纯净光栅,而不应出现其他的颜色。否则,就是色纯度不良。色纯度不良的原因,一是由显像管制造过程中的电子枪的安装误差等引起的,二是由于使用过程中外界的杂散磁场引起电子束的偏转误差造成的。为了使色纯度好,除了提高制造工艺外,还要对显像管进行去磁处理,即所谓消磁,并进行色纯度调整。

2. 会聚要好

彩色显像管的三支电子束在扫描过程中,在任何偏转角度下都能同时轰击到同一组相应的荧光粉单元上。要想实现会聚必须保证三支电子束在分色板的槽孔中交叉汇合,准确会聚后的电子束通过槽孔散开后,就能无偏差地打中各自对应的荧光粉单元,但是如果会聚点不在槽孔中,如提前,三支电子束分开后的着屏点就不在同一个像素的荧光粉单元上,而是落在相隔较远的点上,就不能产生正确的混色效应,出现会聚误差,产生所谓失聚。失聚的表现是在图像或亮度的过渡区图像出现彩色镶边。

3. 白平衡要好

所谓白平衡就是指显示器显示黑白图像时,在任何对比度和亮度的情况下,屏幕上应只呈白色、黑色或各级灰色,而不带有任何彩色,也就是说尽管荧光屏上红、绿、蓝三种荧

光粉都在发光,但三种荧光粉发光强度应比例合适,依三基色原理只呈白色、灰色、黑色,而不应显现任何彩色。实际上由于显像管三支电子束的调制特性不能完全一致,三种荧光粉的发光效率也有差异,因此即使三基色激励信号一致,也不一定达到很好的白平衡。例如三支电子束的截止电压不一样,当用同一幅度的 BGB 基色视频信号分别激励三个阴极时,那么截止电压高(绝对值)的电子枪发射的束电流就大,这样就会产生色偏,无法获得白平衡。因此这就需要进行白平衡调整,保证三基色按正确比例混合以形成标准白色,

除以上的几条外,彩色显像管的要求还有:荧光粉的发光效率高,亮度和对比度足够,电子束聚焦良好,图像分辨率高等。

四、彩色显像管的检测

1. 外观检测

通过用眼睛仔细观察,可对显像管作下述几项检查。

(1)玻璃屏面应光滑,不应有划伤黑斑及较多较大的气泡。

(2)管颈不应有裂纹,不应出现漏气现象。

(3)锥体外壁的石墨导电层不应有面积脱落。一般要求旧管子石墨层脱落面积不应超过总面积的 $1/3$ 。

(4)防爆钢带、安装耳环不应有松动和锈蚀现象。

(5)阳极高压嘴处应清洁、干燥,不应有生锈斑痕。

(6)各管脚不应有松动或弯曲折断。

(7)偏转线圈在显像管管颈上不应有松动现象,偏转线圈上的橡皮楔子不应松脱。

(8)色纯磁环、四极磁铁、六极磁铁等应完整无缺,不应弯折或断裂。

2. 阴极发射能力的检测与修理

1) 阴极发射能力的检测

彩色显像管的阴极发射能力的强弱直接标志着显像管使用寿命的长短以及所显示彩色图像的质量。在维修工作中,经常需要检测判断某个管子的阴极发射电子的能力,以评定其衰老程度如何。鉴别彩色显像管是否老化,通常采用测量阴一栅电阻的方法。具体操作方法是:将显像管管座拔下,只给灯丝加上额定工作电压,其余各电极不加电,使用万用表 $R \times 1k$ 挡,黑表笔固定接栅极,用红表笔逐一去接红、绿、蓝三个阴极。这样可测出三个阴一栅电阻值,根据电阻值的大小,即可鉴定彩管的衰老程度。该阻值在 $10k\Omega$ 以下时,说明阴极发射能力正常;阻值为 $10k\Omega \sim 100k\Omega$ 时,说明管子阴极有轻度老化;阻值大于 $100k\Omega$ 时,说明管子严重老化;若阻值超过 $200k\Omega$,则表明被测彩管阴极已经失效。另外,对于彩色显像管来说,除了要求所测得的三个阴一栅电阻值要小以外,而且还要求它们的阻值要尽量一致,即三个阻值越接近越好。如果某一阻值比另外两个阻值高出 $5k\Omega$ 以上,则说明该阴极比另外两个阴极老化程度严重。此时彩色显像管显示的图像必然要失去白平衡,造成偏色现象。

2) 阴极老化的预防

彩色显像管在长期使用过程中,阴极逐渐趋于老化,发射能力降低是正常现象。但由于使用不当,或电视机电路发生故障,导致灯丝电压过高、电压波动过大,也可能使彩色显像管发生早期或中期衰老失效。所以,为了防止显像管提前老化,延长其寿命,使用中要

注意以下两点。

第一,彩管应工作在额定电压条件下。如果加给彩管的各极电压超出额定值范围,必然会导致种种隐患。例如,若加速极或阳极电压偏高,很容易发生高压打火,轻则影响收看,重则损坏器件,而且在打火的同时会产生电子枪局部过热,过热处会放出气体,结果使管内真空度下降。特别值得一提的是,灯丝电压与阴极发射能力的衰老有更直接的关系,一般彩管的额定灯丝电压为 $(6.3 \pm 0.3)V$ (有效值),使用中不允许超出此范围。如果灯丝电压偏低,会使阴极温度偏低,管内残余气体分子很容易吸附在阴极表面,造成阴极中毒,使发射电子的能力下降。反之,如果灯丝电压偏高,会使阴极长期处于过热状态,最终导致未老先衰。

第二,阴极电压不能低于栅极电压。阴极电压与栅极电压越接近,束电流越大,且阴极表面发射电子的不均匀性也会越加剧。当阴极电压低于栅极电压时,会造成束电流过大,从而加速其老化过程,使使用寿命降低。

3) 阴极老化的应急修理

彩色显像管的阴极老化后,其突出表现特征是开机初期偏于某一基色,且亮度明显变暗,当亮度调大时出现散焦。

对于衰老的彩管,可视情况直接将灯丝电压提高到 $7V \sim 10V$ 使用。具体做法是:将灯丝管脚与原电路脱开,用带塑料皮的细导线在行输出变压器磁心上绕6圈~8圈(如有条件可用示波器测行逆程脉冲为 $32.5V_{\text{峰峰值}}$ 左右),并在新绕线圈上串一只 $2\Omega/2W$ 电阻,接到两灯丝管脚上即可。另外也可采用显像管激活仪对显像管进行激活。有些衰老特别严重的显像管,在进行修理以后,如无任何效果,则只能将其换新。

3. 碰极故障的检测与修理

将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,逐一测量各管脚间的绝缘电阻。阴极与灯丝之间或其他任意电极之间的电阻均应为无穷大;如果有短路现象,则表明电极相碰;如果阻值不是无穷大,说明相应电极间漏电。彩色显像管电极相碰的最大可能性是发生在灯丝与阴极之间,而栅极与阴极或加速极之间相碰的概率较小。

1) 灯丝与阴极相碰

当灯丝与某一阴极相碰时,因为灯丝一端往往接地,将导致该阴极电位明显下降,电子束电流大大增加,造成屏幕上仅显示单色光,如绿阴极碰极则显示为绿色光;红阴极碰极则显示为红色光;蓝阴极碰极则显示为蓝色光。此时屏幕上出现满屏回扫线,亮度也会失去控制。

灯丝与阴极相碰,分为“热态”和“冷态”两种。具体检测判断的方法为:关机后,迅速拔下管座,用万用表 $R \times 1k$ 挡测量灯丝与阴极之间的电阻值。正常时,此值为无穷大,故障时,此值随碰极程度不同而不同。当两极短路时,则电阻值为零。如果阻值随着灯丝的冷却而增大,这种表现则为“热态”碰极现象。若阻值为一定值不变则为“冷态”碰极。由此可见,所谓“热态”碰极是指灯丝在工作一段时间受热后产生膨胀和变形,与阴极相碰,关机后,灯丝逐渐冷却后又与阴极脱开,两者间的电阻值又恢复为无穷大;而“冷态”碰极与“热态”碰极不同的是,无论灯丝是否加热,二者始终碰在一起不能分开。

对于灯丝与阴极碰极故障可采用下述两种方法进行修理。

(1)用 $220V/6.3V$ 小型电源变压器单独给灯丝供电。具体电路如图12-11所示。

将灯丝两管脚与原电路脱离(可通过对显像管尾板进行适当处理实现)。另外制作一个 $5\text{V} \cdot \text{A}$ 左右的小型交流变压器,铁芯截面积为 $14\text{cm} \times 20\text{cm}$,初级绕组用 $\phi 0.1\text{mm}$ 漆包线绕 3520 匝,次级用 $\phi 0.6\text{mm}$ 漆包线绕 103 匝。将小变压器固定在电视机内适当的位置上,用绝缘导线将次级两个端线引出接到灯丝两引脚,初级绕组的两引线接到电源开关上。注意,初级绕组不要直接接到 220V 进线端,而是要接到能受电源开关控制的一端。

(2)在灯丝回路串接电容。如图 12-12 所示,将显像管灯丝接地端断开,串入一只 $5\mu\text{F} \sim 6\mu\text{F}$ 的无极性电容,以阻止阴极电流通过灯丝短路到地。

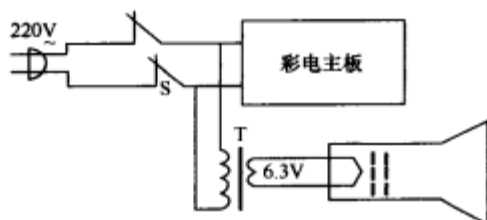


图 12-11 灯丝单独供电

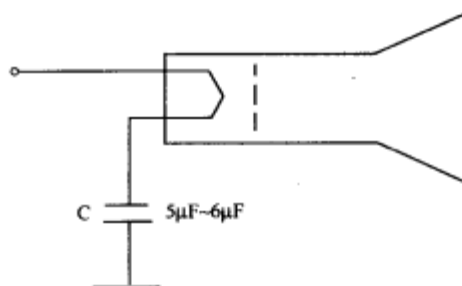


图 12-12 灯丝回路串联电容

(3)在行输出变压器上加绕线圈。如图 12-13 所示。

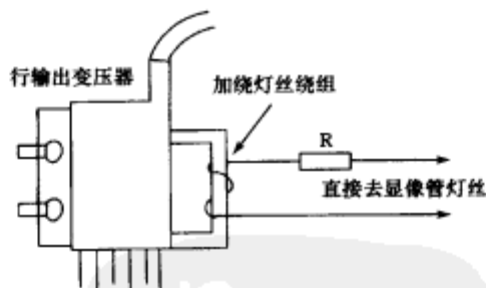


图 12-13 在行输出变压器上加绕线圈

将灯丝两管脚与原电路脱离,在原机行输出变压器的磁芯上穿绕一组线圈单独给灯丝供电。灯丝额定电压一般为 6.3V ,可加绕 2 圈,注意,加绕圈数不能太多。另外,不同机型所加绕的圈数也有所不同,要根据情况灵活处理,其原则是以不烧毁灯丝和光栅亮度适中为准。如果原来灯丝供电电路中串有限流电阻,应从原板上焊下来,然后直接串入此灯丝电路中,并用套管套好即可。

2) 阴极与栅极相碰

此种碰极,也可分为“冷态”和“热态”两种情况。两者相碰时,亮度失控,荧光屏上呈现某种基色光栅,并伴有回扫线。阴、栅“冷态”碰极主要是由于显像管内部芯柱铆钉松脱所致。检测时,先将管座拔下,然后用万用表 $R \times 10\text{k}$ 挡测量阴极与栅极间的电阻值,正常状态下,该值为无穷大,若测出阻值,则为碰极,电阻越小碰极越严重。阴、栅“热态”碰极多是由于显像管内部电极至芯柱的引线带靠得太近,受热后发生膨胀变形造成的。这种碰极故障,刚开机时无任何表现,待工作一段时间后才呈现碰极现象。检测鉴别时,可

在关机后迅速拔下显像管管座,测量阴、栅极之间的电阻值,即会发现二者之间有漏电阻存在,而且随着关机时间的延长,灯丝不断冷却,阻值迅速增大,最后恢复到无穷大。另外,还可以采用单独给灯丝加电的方法进行测试判断。方法是:拔下管座,给灯丝加上额定电压,然后用万用表 $R \times 1k$ 挡测量阴、栅极之间的电阻值,若阻值随加热时间的延长而不断变小,则可确认为存在“热态”碰极故障。

测试时应注意的是,因为彩色显像管有三个阴极(红、绿、蓝),相应地有三个管脚,而栅极只有一个引出管脚,所以,在检测时,可先根据荧光屏上的故障表现,初步确定是哪一对阴、栅碰极,然后再重点对其进行验证测试。也可对三组阴、栅极分别进行测试检查,直到找到相碰电极。发现彩色显像管有阴、栅碰极故障后,可采取相应方法进行修理,对于“冷态”阴、栅碰极的显像管,可试用电击法将相碰点分离,具体方法是:拔掉显像管管座。找一只 $470\mu F/400V$ 电解电容,用绝缘导线将两电极引出,将电容充上 $100V \sim 400V$ 直流电压。将电解电容的任一个电极引线接阴极,用另一电极引线反复点触栅极,使电容放电,直至将两电极烧开为止。如果经电击法处理后不奏效,只能更换新管。

4. 断极故障的检测与修理

(1)灯丝断裂。造成灯丝断裂的主要原因,一是管子自身质量差,制造过程中使灯丝受损或材料有缺陷以及灯丝引脚内部压接处不良;二是电视机灯丝电路发生异常,导致灯丝电压过高将灯丝烧断。判断灯丝是否断裂的方法十分简单:先将显像管管座拔掉,用万用表 $R \times 1$ 挡测量灯丝两管脚之间的电阻值,若在 10Ω 左右,即为正常,若阻值为无穷大,表明灯丝已断裂。彩色显像管灯丝烧断后,一般较难修复,须更换新管。

(2)阴极断裂。彩色显像管具有红、绿、蓝三个阴极,一般情况下,三个阴极同时都断的可能性极小,常见的是仅某个阴极内部断裂。光栅表现是缺少某个基色。判断阴极是否断路的常见方法是测量阴、栅极电阻。具体操作方法与电阻法检测阴极发射能力的方法相同。在单独给灯丝加上额定电压后,若测出阴、栅极之间电阻值极大,则可断定阴极已经断裂。

(3)栅极断裂。彩色显像管栅极断裂后,会使束电流增大,导致亮度和色饱和度失控,光栅上出现满屏回扫线。显示彩色图像时出现色彩严重失真。将彩色完全关掉时,屏幕上显示不出正常的黑白图像,而是出现整屏的假彩色。

检测判断栅极是否断裂的方法仍可参照测量阴极发射能力的方法进行:即给灯丝加上额定电压,通过测量阴、栅极间电阻进行鉴别,阴、栅极间电阻值极大,则表明栅极断裂。注意,检测阴极断裂和栅极断裂两种故障时,所测得的阴、栅电阻值都表现为极大,究竟是二者中哪个电极断裂所致,要根据其引起的故障现象有较大差别这一点综合起来进行分析加以判别,最终得出正确结论。

(4)加速极断裂。加速极断裂时,由于电子束得不到应有的能量进行运动,从而打不到荧光屏上,因此会导致无光栅的故障,自然也就不会出现图像。

判断加速极是否断路的方法是:拔下显像管管座,给灯丝加上 $6.3V$ 额定工作电压,将阴极和栅极短路,用万用表 $R \times 10k$ 挡测量阴极和加速极之间的电阻值,正常时应为 $400k\Omega$ 左右。如果测得的阻值为无穷大,则说明加速极已经断裂。

阴极、栅极和加速极发生内部断裂故障后,在业余条件下是无法修复的,只能更换新管。

5. 漏气及其判别

彩色显像管属真空器件,有时会因某种因素产生漏气故障,导致其不能正常使用。彩管漏气的主要原因可归纳为以下三个方面。

(1)人为致损。例如在运输过程中使其受到强烈振动,致使管壳产生裂纹;在插入或拔下显像管座时,由于操作不当,用力过猛,使管针封接处出现裂纹;维修时,将工具如电烙铁、改锥等,不慎掉在显像管尾部封口处或管颈上,都会导致管颈漏气,甚至破碎。

(2)电视机电路异常致损。当电视机电路产生故障时,特别是高压和偏转电路工作失常时,会对显像管产生种种不良的影响。例如,场扫描 OTL 输出电路中的隔直流电容击穿,直流分量会使扫描基准产生严重偏移,大量电子束集中打到管颈和锥体交接处,使该处玻璃出现高热,轻则易产生裂痕漏气,重则导致破损炸裂;若高压阳极端混有杂质或阳极保护帽密封不好,使杂质或潮气进入该处,将造成高压打火放电。这种打火放电很容易引起阳极的玻璃封接处产生裂纹。另外,如果电视机保护电路不良,当阳极高压超压时不能及时将其切断,过高的阳极高压会引起显像管多处跳火放电。这种跳火不仅会损坏电子元器件,而且还有可能使锥体部分发生粉碎性炸裂现象。

(3)制造工艺不良致损。由于在制造显像管过程中存在某种缺陷,会使管子有种种先天不足,从而给使用造成不良隐患。这些隐患主要有:电子枪封口褪火不好,在管颈上残留环应力,这种应力很容易在一定环境条件下被释放出来,形成管颈断裂界面;排气管封口不良,封口处存有微小气泡,极易产生慢性漏气;玻璃封接处沾有杂质,一旦杂质被高压击穿,便形成漏气砂眼;管内存有杂质,使显像管工作时产生严重跳火,特别是管颈内部跳火,很容易造成玻壳击穿。

以上几点均是造成彩色显像管产生漏气的直接原因。在使用或挑选彩管时必须加以注意。

对于彩色显像管漏气性故障,可根据漏气程度不同所表现出的不同现象加以判别。

(1)慢性漏气。显像管有慢性漏气时,由于气体分子逐渐在阴极涂层表面形成一层负电性的分子层,此分子层所产生的电场将阻止自由电子逸出阴极表面,使阴极中毒,降低阴极发射电子的能力。慢性漏气所产生的突出危害是使显像管早衰。

(2)真空度不良。开机后管颈部分发蓝色或淡紫色辉光,甚至出现跳火。只要仔细观察即可发现。

(3)严重漏气,大量空气进入管内,管颈部分跳火严重,甚至形成一束紫光,并发出“啦啦”声。

显像管漏气在业余条件下是无法修复的,只能更换新的显像管。

五、彩色显像管的代换

目前,各种不同型号的彩色电视机所使用的彩色显像管的型号大都不同。同时,各个彩管生产厂家生产的彩管在结构和性能上并不完全一致,即使是同一厂家,不同时期所生产的管子,型号规格也可能有较大差异。所以,多数彩管均不能直接进行互换。大量实际维修经验证明,在无原型号管子可换的情况下,采用性能相近的管子进行代换是很实用的方法。代换时,只要对原电路或相关的元器件进行必要的改动,使整机电路满足代换新管的工作参数要求,同样能取得比较满意的效果。

1. 了解掌握原管的主要性能

在具体进行代换之前,要通过查阅有关资料或者对原相应的显像管电路进行必要的测试,详细了解和掌握原管的主要性能,如管子的型号、规格、供电电压、偏转线圈参数、管脚排列等。对这些内容,必须要做到心中有数。

2. 选择代换管

选择代换管是彩色显像管代换的关键步骤,一般应从以下几个方面来综合考虑。

(1)屏幕尺寸。大小应与原管一致,即保证代换管能安装在电视机机壳内。

(2)管径。一般应选用同管径的进行代换。但如果其他条件相同,粗、细管径显像管也是可以进行代换的。这时偏转线圈要使用与新管配套的偏转线圈。另外,由于粗、细管径的偏转功率一般是有差别的,所以代换时还应适当对偏转电路进行相应的改动和调整。

(3)管脚排列。正确判定管脚排列顺序和各管脚的功能直接关系到代换的成功与否。如果管脚识别不清,判断错误,尤其是把灯丝引脚搞错,一旦将新显像管接入电路,就很可能将其损坏。所以,要根据有关资料,正确判定原彩管和新彩管的管脚排列顺序,并通过对二者的比较,确定是否能使用原管管座。如果原管座能插入新显像管,只是管脚排列顺序不一致,可把显像管尾板上管脚电路切断,重新按适应新管排列的顺序进行焊接即可。如果原管管座无法利用,要设法更换新管座,以便与新显像管相配套。如果原管有一个栅极引出脚,而新管有红、绿、蓝三个栅极引出脚,则可将新管的三个栅极短接后接到原管栅极电压上,反之办法相似。对加速极也可参照此法进行处理。

(4)加速极电压。一般可遇到下述三种情况,要根据实际情况加以解决。

第一种,新管和原管的加速极电压范围有共同区域:只需简单调整就能达到新管要求。

第二种,新管加速极电压稍高于原管:可采用适当减小行逆程电容容量的方法来提高加速极电压。但要注意不能将逆程电容容量减得过小,以防止灯丝电压超出额定电压,影响显像管使用寿命。

第三种,新管加速极电压稍低于原管:可采用电阻分压的方法降低加速极电压以满足新管要求。

(5)聚焦极电压。一般也可能遇到与加速极电压相同的三种情况,相应的解决办法也相同。但因为聚焦极电压较高,一般在 $1000\text{V}\sim 8000\text{V}$ 左右,所以在采用电阻分压法来降低电压时,要注意防止高压打火。

(6)阳极高压。此电压一般均在 $20\text{kV}\sim 25\text{kV}$ 之内,新管和原管最好一致。如有差异,两者差值小于 2kV ,可通过改变行逆程电容大小来达到新管的要求。若相差太多,可考虑更换能满足新管要求的行输出变压器来解决。

(7)偏转线圈。要将新管和原管的偏转线圈的电感量、电阻值进行比较后,再确定是使用新管偏转线圈还是使用原管偏转线圈。一般根据比较结果,可有两种选择。

第一种,若两偏转线圈参数基本一致,则可使用新管偏转线圈,这样,可实现偏转线圈与电视机电路的匹配。

第二种,若两偏转线圈参数差异较大,则应使用原管偏转线圈。这样代换的优点是不需改动电视机相关偏转电路。缺点是需要进行会聚、色纯调整以保证显示图像的质量。

(8)灯丝电压。目前,几乎所有的彩色显像管的灯丝电压均为 6.3V 。电视机在电路

设计时都按此电压设计。但显像管装机通电试验时,应进行必要的测试,以保证灯丝电压的准确。

经过综合分析新管和原管上述几项指标的相同点和不同点后,便可根据实际情况选择出合适的代换新管,进而确定代换方案。

3. 开机试验调整

代换安装完毕后,要首先全面检查引线接法、电路改动、灯丝引脚等是否正确,高压帽是否装好,接插件是否插上,然后再开机试验,并视情况对行幅、场幅、线性、色纯、会聚、白平衡、聚焦等进行必要的调整。

第三节 示波管和真空荧光显示屏简介

一、示波管

示波管和彩色显像管的外形和功用虽各不相同,但它们有一个共同点,就是利用了电子束的聚焦和偏转,因此统称为电子束管,电子束的聚焦与偏转可以通过电场或磁场对电子的作用来实现。示波管是电聚焦和电偏转,而显像管则是电聚焦和磁偏转。

示波管由电子枪、偏转板和荧光屏三部分组成。其结构如图 12-14 所示。

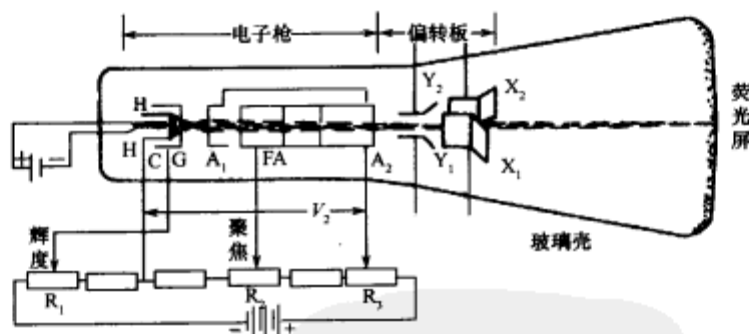


图 12-14 示波管的基本结构

H—钨丝加热电极; FA—聚焦电极; C—阴极; A₁—第一加速阳极;

A₂—第二加速阳极; G—控制栅极; X₁、X₂—水平偏转板; Y₁、Y₂—垂直偏转板。

其中电子枪是示波管的核心部件,电子枪由阴极 C、栅极 G、第一加速阳极 A₁、聚焦电极 FA 和第二加速电极 A₂ 等同轴金属圆筒(筒内膜片的中心有限制小孔)组成,当电流通过钨丝阴极 C 被加热后,筒端的钽与铯氧化物涂层内的自由电子获得较高的动能,从表面逸出。因为第一加速阳极 A₁ 具有(相对于阴极 C)很高的电压(例如 1500V),在 C-G-A₁ 之间形成强电场,故从阴极逸出的电子在电场中被电力加速,穿过 G 的小孔(直径约 1mm),以高速度(数量级 10^7 m/s)穿过 A₁、FA 及 A₂ 筒内的限制孔,形成一束电子射线。电子最后打击在屏的荧光物质上,发出可见光,在屏背可以看见一个亮点。

控制栅极 G 相对于阴极 C 为负电位(见图 12-14 中电路),两者相距很近(约十分之几毫米),其间形成的电场对电子有排斥作用。当栅极 G 负的电位不很大(几十伏)时就足以把电子斥回,使电子束截止。用电位器 R₁ 调节 G 对 C 的电压、可以控制电子枪射出电子的数目,从而连续改变屏上光点的亮度。增大加速电极的电压,电子获得更大的轰击

动能,荧光屏的亮度水平虽然可以提高,但加速电压一经确定,就不宜随时改变它来调节亮度。所有电极都封装在高真空的玻璃壳内,各有导线引接到管脚,以便和外电路相连。

阴极发射的电子在电场的作用下,会聚于控制栅极小孔附近一点。在这里,电子束具有最小的截面,往后,电子束又散射开来。为了在屏上得到一个又亮又小的光点,必须把散射开来的电子束会聚起来。

像光束通过凸透镜(或透镜组)时,因玻璃的折射作用,使光束聚焦成一个又小又亮的点一样,也能使电子束通过一个聚焦电场,在电场力的作用下,电子运动轨道改变而会合于一点,结果在荧光屏上得到一个又小又亮的光点。产生这个聚焦的静电场装置,在电子光学里称为静电电子透镜。静电电子透镜由电子枪内的聚焦电极 FA 与第二加速电极 A_2 组成。

在示波管的两块偏转板 X、Y 上加上电压时,受电场力的作用,通过两板之间的电子束方向就会发生偏转。

二、真空荧光显示屏 VFD

真空荧光显示屏(VFD)是当今世界发展较快的显示器件,与液晶、半导体等显示器相比,具有显示清晰、寿命长、自身发光和彩色显示等优点,它既可动态显示,也可静态显示,因此,真空荧光显示屏是 VCD、DVD、录像机等家用电器中的理想显示器件。

1. 真空荧光显示屏的基本结构

真空荧光显示屏的构造如图 12-15 所示。

荧光显示屏的基本结构是真空三极管,外壳是低熔点玻璃粉密封的平板玻璃,与玻璃盖和底面玻璃板(玻璃基板)形成一真空容器。玻璃壳内保持 $1.33 \times 10^{-3} \text{ Pa} \sim 1.33 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 的高真空,内置有阴极、栅极和阳极。

荧光显示屏把玻璃壳的底面玻璃板作为阳极基板。通常阳极是由石墨组成,其上覆有一层印刷字符图形的低压荧光粉。连接阳极图形和外引线的是厚膜印刷的银线路或薄膜光刻的铝线路。在布线层上面绝缘层中,埋入能导电的通孔点子,使阳极图形能和对应的阳极线路相连。在阳极基板上安装有一组互相平行的直热式细丝氧化物阴极(灯丝)。由于灯丝做得很细(几十微米),所以不会挡住视线。为不妨碍显示,灯丝的工作温度通常为 $600^\circ\text{C} \sim 650^\circ\text{C}$ 。在灯丝和阳极基板之间安装有蜂窝状栅极,为了不影响显示,功耗尽可能小,栅极一般采用厚度为 $50\mu\text{m}$ 的不锈钢带,通过光刻做成 $15\mu\text{m} \sim 35\mu\text{m}$ 、边长 $0.25\mu\text{m}$ 左右的正六角形网络。除了以上三种基本电极外,在玻盖里面涂有透明导电膜,保持在灯丝电位或地电位,以防止因外部的静电感应而影响显示,在玻盖的端头,有一至两块黑色的金属膜,这是吸气剂蒸发时形成的钽蒸发膜,通常称为吸气剂镜面,它的作用是吸收管内的气体,维持高真空。

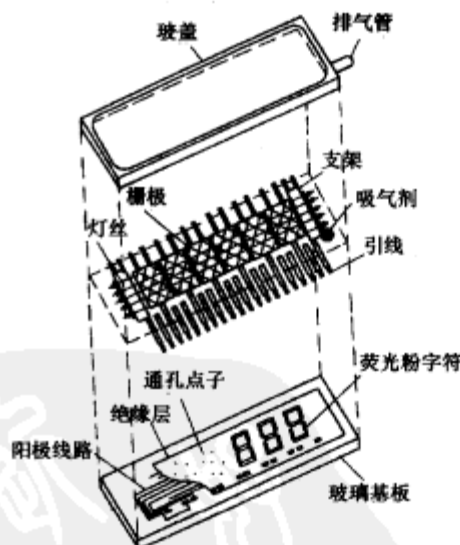


图 12-15 真空荧光显示屏的构造

2. 真空荧光显示屏的工作原理

荧光显示屏的工作原理图如图 12-16 所示。

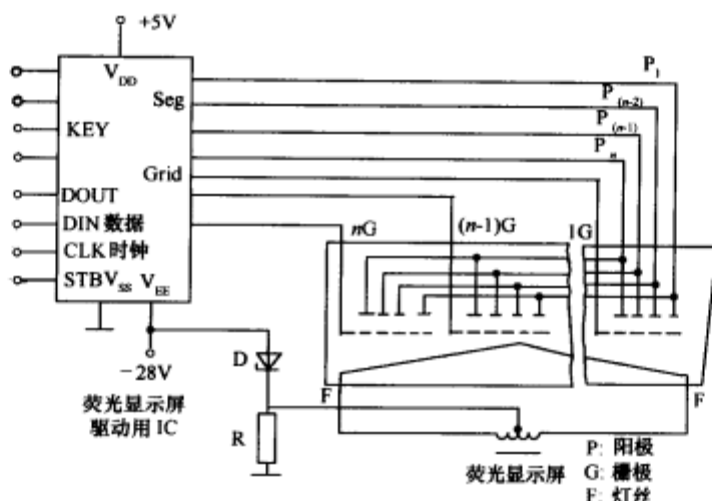


图 12-16 荧光显示屏的工作原理图

荧光显示类似电视机显像管原理，即灯丝发射电子后由荧光点接收，所以正常工作时各极需要的电压不同。灯丝电压一般是用交流低电压（一般为 AC3.5V），但灯丝的电位应该比阳极和栅极低，才能使电子流导向正确，所以常常另外叠加负电压，或者提高阳极输出信号 IC 的工作电压。荧光显示管灯丝条安放在栅网上方。

荧光显示屏灯丝两端加上额定工作电压时，会发射出大量电子。这些电子被加有正电压的栅极加速，撞击阳极荧光粉而发光。荧光显示屏栅极分成若干位（6 位～9 位），每位单独引出。每位里的阳极分成若干段，各位对应的阳极段连到一起，组成若干组，同一组中的阳极段公用一根引出线。显示时，通过时间分配把脉冲电压加到各位栅极上，依次开通各位栅极，随着栅极开通的信号，阳极加上与之同步的字符信号脉冲电压，这样，荧光显示屏的各位字符按栅极扫描脉冲轮流点亮。只要扫描速度足够快（最好在 200Hz 以上），利用人眼的视觉暂留，人眼觉察不到其间断点亮，看到的是一幅完整的显示图形。配上可直接驱动荧光显示屏的专用集成电路或单片微机，荧光显示屏就能显示出所需的各种功能。

荧光显示屏使用日久，亮度会下降。这时，可通过适当提高灯丝电压，但不能超过额定电压的 1.1 倍，如果发现荧光显示屏点不亮，吸气剂镜面发白或消失，说明荧光显示屏已漏气，必须更换荧光显示屏。

第四节 液晶显示屏简介

液晶是介于固体和液体之间的中间物质，一般情况下它和液体一样可以流动，但不同的方向上它的光学特性不同，显示出类似于晶体的性质，所以这类物质称为液晶。利用液晶的电光效应制作的显示器就是液晶显示器（LCD）。

液晶显示器的一个最突出的特点就是其本身不发光，它是用电来控制对环境照明的

光在显示部位的反射(或透射)方法而实现显示。因此在所有的显示器件中,它的功耗最小,每平方米在 $1\mu\text{W}$ 以下,与低功耗的 CMOS 电路匹配最适于各种便携的袖珍型仪器仪表、微型计算机等作为终端显示用。

液晶显示器自 1968 年问世以来,其发展速度之快、应用范围之广,都已远远超过其他显示器件。下面重点分析在家用电器中应用较广的 TN 和 TFT 液晶显示器件。

一、TN 型液晶显示器件

1. TN 型液晶显示器件的构造和原理

LCD 器件的结构如图 12-17 所示。由于液晶的四壁效应,在定向膜的作用下,液晶分子在正、背玻璃电极上呈水平排列,但排列方向互为正交,而玻璃间的分子呈连续扭转过渡,这样的构成能使液晶对光产生旋光作用,使光的偏振方向旋转 90° 。

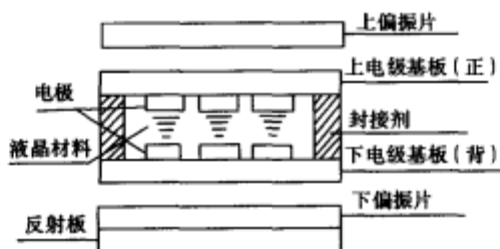


图 12-17 TN 液晶显示器的基本构造

图 12-18 显示了液晶显示器的工作过程。当外部光线通过上偏振片后形成偏振光,偏振方向成垂直方向,当此偏振光通过液晶材料之后,被旋转 90° ,偏振方向成水平方向,此方向与下偏振片的偏振方向一致,因此此光线能完全穿过下偏振片而到达反射板,经反射后沿原路返回,从而呈现出透明状态。当在液晶盒的上、下电极加上一定的电压后,电

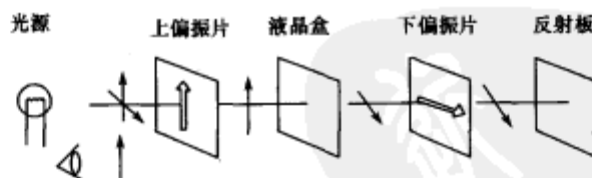


图 12-18 液晶显示工作原理

极部分的液晶分子转成垂直排列,从而失去旋光性。因此,从上偏振片入射的偏振光不被旋转,当此偏振光到达下偏振片时,因其偏振方向与下偏振片的偏振方向垂直,因而被下偏振片吸收,无法到达反射板形成反射,所以呈现出黑色。根据需要,将电极做成各种文字、数字或点阵,就可获得所需的各种显示。

2. LCD 的驱动方式

液晶显示器的驱动方式由电极引线的选择方式确定,因此,在选择好液晶显示器之后,用户无法改变驱动方式。

液晶显示器的驱动方式一般有静态驱动和时分分割驱动两种。由于直流电压驱动 LCD 会使液晶体产生电解和电极老化,从而大大降低 LCD 的使用寿命,所以现有的驱动方式多属交流电压驱动。下面主要介绍应用较多的笔段式液晶显示静态驱动方式。

笔段式液晶显示器件是应用最早、使用最广的显示器件之一。所有的计时、计数用液晶显示器几乎都是笔段型液晶显示器。不过,并非所有笔段型液晶显示器都是静态驱动法进行驱动的,只有电极排布如图 12-19 所示时,才能使用静态驱动法进行驱动。

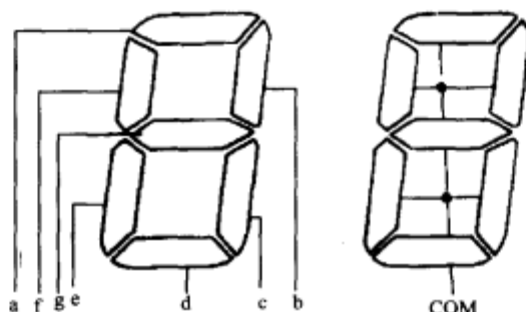


图 12-19 7 段液晶显示器的电极引线排布

静态驱动回路及波形图如图 12-20 所示。

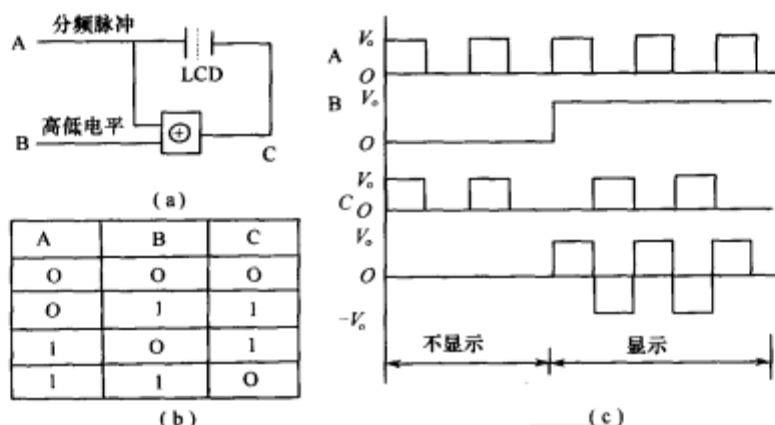


图 12-20 静态驱动回路及波形

(a)驱动回路; (b)真值表; (c)波形图。

图 12-20(a)是一个异或门电路。输入端 A 是由振荡电路产生的方波脉冲,并且直接与液晶显示器件的背电极 COM 端连接。另一输入端 B 可接入高、低电平。异或门的输出端接液晶显示器件的前极笔段端(a、b、c、d、e、f 或 g 端)。

从图 12-20(b)异或门的真值表中可以得到 LCD 两端交流驱动波形如图(c)所示。可见,当字段上两个电极的电压相位相同时,两电极之间的电位差为零,该字段不显示,当此字段上两个电极的电压相位相反时,两电极之间的电位差不为零,为 2 倍幅值的方波电压,该字段呈现出黑色显示。

重点提示:液晶显示的驱动与 LED 的驱动有很大的不同。对于 LED,当在 LED 两端加上恒定的导通或截止电压便可控制其亮或暗。而 LCD,由于其两极不能加恒定的直流电压,因而给驱动带来复杂性。一般应在 LCD 的公共极(一般为背极)加上恒定的交变方波信号,通过控制前极的电压变化而在 LCD 两极间产生所需的零电压或 2 倍幅值的交变电压以达到对 LCD 亮、灭的控制。

图 12-21 是 7 段液晶显示器的电极配置和静态驱动电路图。7 段共用一个背极 BP,

前极 a、b、c、d、e、f、g 互相独立,每段各加一个异或门进行驱动,显示字符同 LED。

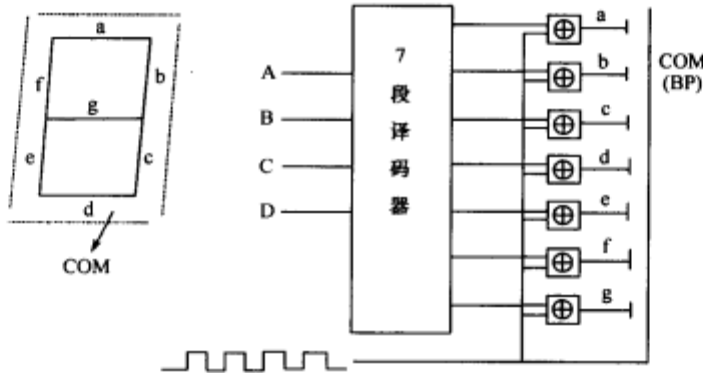


图 12-21 7 段 LCD 显示电路

目前已有许多 LCD 驱动集成芯片,已将多个 LCD 驱动电路集成到一起,使用起来跟 LED 驱动芯片一样方便,而且形式非常相似。

3. TN 型液晶显示器件引脚识别和性能检测

以应用广泛的三位半静态显示液晶屏为例,其管脚引线如图 12-22 所示。

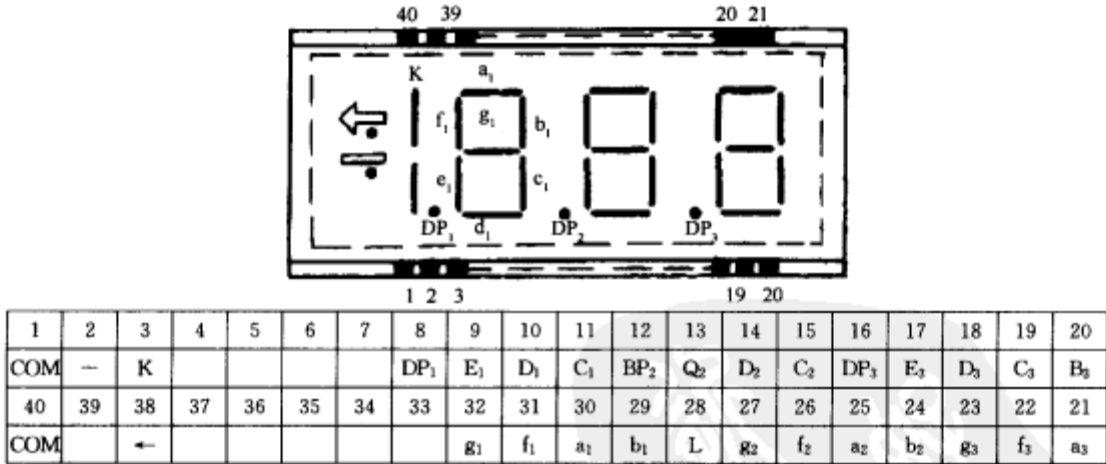


图 12-22 液晶显示器引脚排列

若管脚排列标志不清楚时,可用下述两种方法鉴定。

1) 加电显示法

液晶加电显示法如图 12-23 所示。

取两只表笔,使其一端分别与电池组的“+”和“-”相连。一只表笔的另一端搭在液晶显示屏上,与屏的接触面越大越好。用另一只表笔依次接触引脚。这时与各被接触引脚有关系的段、位在屏幕上显示出来。如遇不显示的引脚,则该脚必为公共脚(COM)。一般液晶显示屏的公共脚有 1 个~3 个不等。

2) 数字万用表测量法

万用表置二极管测量挡,用两表笔两两相量,当出现笔段显示时,表明两笔所接脚中有一引脚为 BP(或 COM)端,由此就可确定各笔段,若屏发生故障,亦可用此查出坏笔段。

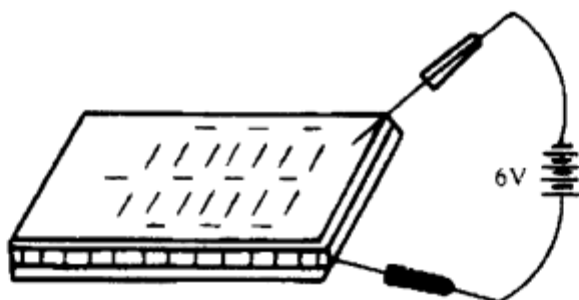


图 12-23 液晶加电显示法

对于动态液晶屏,用同法找 COM,但屏上有不止一个 COM,不同的是,能在一个引出端上引起多笔段显示。

对选购来的 LCD 在使用前应作一般的检查,方法是:取一段几十厘米长的软导线,靠近台灯或收音机、电视机的 50Hz 交流电源线。用手指接触液晶数字屏的公共电极,用软导线的一端金属部分依次接触笔画电极,导线的另一端悬空,手指也不要碰导线的金属部分,如果数字屏良好的话,就能依次显示出相应的笔画来。

这种检查液晶数字屏方法的原理是:50Hz 的交流电在导线上的感应电位与人体电位有一个电位差,我们暂且叫这个电位差为“电源”,这个“电源”电压可能会有零点几伏到十几伏(视软导线与 50Hz 电源线的距离而定),这个“电源”是足以驱动液晶显示屏的,而且这个“电源”的内阻很大,不会损坏液晶显示屏,而万用表中的“高”直流电压对液晶显示屏是有害的。只要适当调整软导线与 50Hz 电源线的距离,就能很清晰地显示出笔画。软导线与 50Hz 电源线也不要靠得太近,以免显示过强。

二、TFT 液晶显示屏

1. TFT 液晶显示屏的结构

液晶显示屏的结构如图 12-24 所示,其立体结构如图(a)所示,而一组三基色像素的剖面图如图(b)所示。

TFT 液晶显示屏是一种薄形的显示器件,它由上下两块相互平行的透明基板构成(其间由直径均匀的许多玻璃微珠来支持,以保证间距),基板间充满了液晶体,四周密封组成了一个扁平状的盒形密封体。

在下基板上分布着许多横竖排列并互相绝缘的格状透明金属膜导线,将下基板分隔成许多微小的格子,称为“基色单元”;而每个格子中又有一片与周围导线绝缘的透明金属膜电极称为像素电极。该电极的一角,依靠一支用印刷法制作在基板上的薄膜(场效应)晶体管 TFT(Thin Film Transistor),分别与两根纵横导线连接。TFT 场效应管的栅极与横线相接,横线称为栅极母线,因起到 TFT 选通作用又称为选通线;而 TFT 管的源极与竖线连接,竖线称为源极母线。TFT 的漏极即与透明像素电极连为一体。这样只要在任何一组横、竖导线上加上电压即可使连在该横、竖线交叉点上的一个 TFT 导通,使该像素电极被选中而带电。

在上基板上也同样划分为许多小格子,每个格子均与下基板的一个像素电极对应,但其差别是它没有独立的电极而只是覆盖着一小片红、蓝、绿色的透明薄膜滤光片,整个上基板

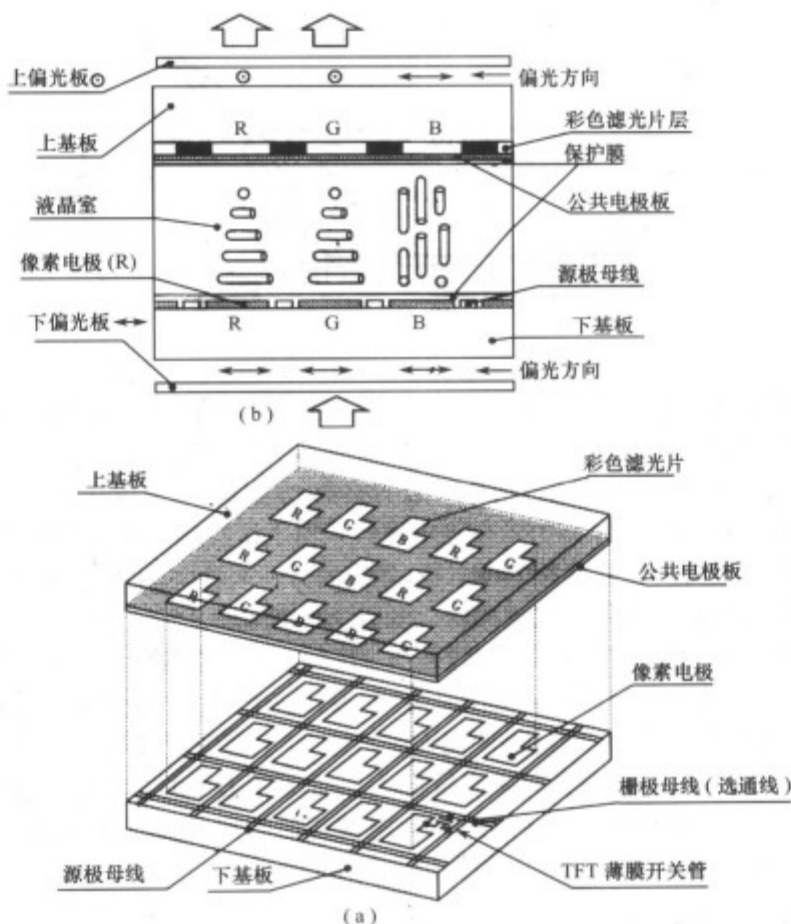


图 12-24 TFT 液晶显示屏的构造

只均匀覆盖一层透明导电膜,称为公共电极。公共电极与下基板的每个像素电极之间即构成一个个小电容,因此当在横、竖线上加电压而选中该薄膜晶体管时,晶体管即导电,使该像素电极与公共电极的电容充电,形成作用于上下基板间液晶分子的电场,从而使该像素电极区变为透光,透过光因覆盖的红、绿、蓝滤光片颜色不同而分别可显示出红、蓝、绿不同的颜色,从而组成彩色显示的一个基色像素。液晶显示屏的等效电路如图 12-25 所示。

液晶显示屏的光源是依靠下电极背后的白色荧光管来发光,而液晶的像素阵列只起到通断光路或调节光线强弱的光阀作用。从而使整个液晶屏面产生彩色图像显示。显示的清晰度取决于屏面上像素单元的多少。例如,夏普公司生产的 LCY96002(5.6 英寸)显示屏共有 74880 组像素,可组成 320×234 的精密影像。

2. TFT 液晶显示屏的显示原理

液晶显示屏每个像素单元之所以能起到光阀作用,是因为液晶分子在电场的电力作用下,具有改变其通过光线的偏振方向的特性。其情况如图 12-24(b)所示。

图 12-24 中展示了液晶屏上一组三基色像素的剖面结构,白色荧光管光源从背面(下方)射入,下偏光板能使白光源的偏振方向统一为平行于纸面。当此白光射入三个像素单元区域时,情况有所不同:R、G 两像素单元由于被母线选中而带电,液晶分子发生规则排

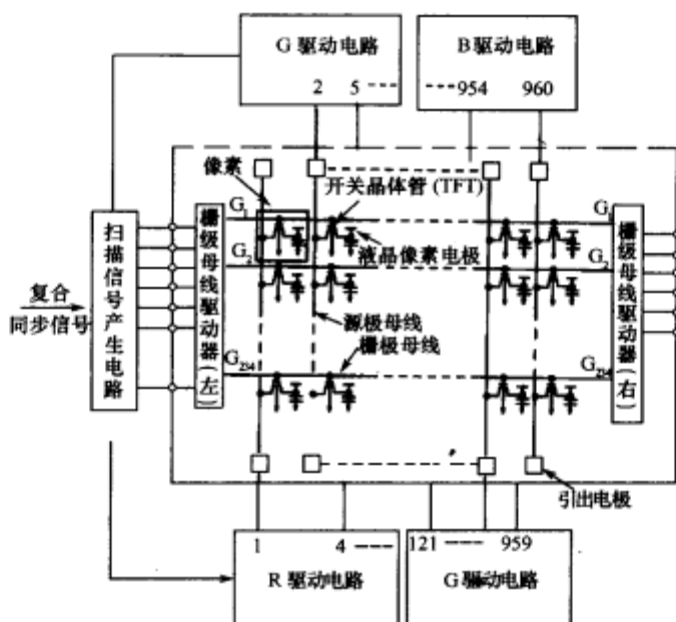


图 12-25 TFT 液晶显示屏等效电路和驱动电路

列,使通过光线的偏振方向产生 90° 旋转,从而使光的偏振方向变为垂直于图面,而上基板的偏光方向本来即与下偏光板相差 90° ,故此时光线经液晶旋转后的偏振方向刚好与其相同,因而能够通过,呈现透光,故 R、G 两像素单元透光而显出滤色片的颜色;B 单元因未被母线选中而不带电,液晶分子因无电场作用而成杂乱排列,不能对通过光线的偏振方向起到旋转作用,所以通过该单元的光的偏振方向并未改变,而仍是平行于图面,这正好与上偏振板的偏振方向相差 90° ,故不能通过,该蓝色单元即不透光而呈黑暗状态。这样,该组三基色像素单元中,只有 R、G 两色发光,故呈现黄色。

由上可见,如果将视频信号加到源极母线和公共电极之间,再通过栅极母线对薄膜晶体管逐组选通,即可控制液晶显示屏上每一组像素单元的发光与否及发光颜色,从而达到显示彩色图像的目的。各基色像素单元的源极母线,按照三基色的色彩不同而分为三组,分别施加各基色的视频信号,就可以控制三基色的比例,从而使液晶显示屏显示出不同的色彩来。

3. TFT 液晶显示屏的性能和驱动方式

1) TFT 液晶显示屏的性能

下面以液晶便携式 VCD 机采用的日本夏普公司生产的 LCY96002 型液晶显示屏为例,说明 TFT 液晶显示屏的性能。

单色像素数量:960 像素(水平)×234 像素(垂直)

三基色像素组数量:320 像素(水平)×234 像素(垂直)

总像素值:74880 组

总像素点:2224640 个

显示范围:115.2mm×84.2mm

对角线长:14.2cm(5.6 英寸)

单色像素尺寸:0.12(水平)mm×0.36(垂直)mm

2)LCY96002 液晶显示屏的驱动方式

LCY96002 液晶显示屏,采用有源矩阵驱动方式。它要显示电视图像必须具有三种能力。

第一,垂直寻址。即在外部电视帧(场)同步脉冲的同步下能够将 TFT 场效应管的栅极母线(水平方向)逐条加上电压,以产生自上而下的每行扫描,从而产生类似电视的场扫描。

第二,水平寻址。即在外部电视行同步脉冲的同步作用下,能够使 TFT 场效应管的源极母线(竖直走向)从左至右逐根逐条地加电,以使每一行水平像素,自左至右地逐个燃亮,产生类似电视的行扫描作用。

第三,对比度控制。即将 TFT 开关管的源极和漏极之间加上代表对比度大小的视频信号,当每个开关管控制像素逐行逐点地顺序透光时,相应于每个像素位置的对比度电压(视频信号)能够控制开关管导通的程度,从而控制该像素点的亮度。

只要能够满足以上三个功能,液晶显示屏就能显示出图像。这三个功能可以简化为像素点的场行扫描功能和亮度调制功能。

(1)扫描功能:为了对像素产生逐行逐场的扫描寻址,显示屏内周边电路设立了专用的扫描寻址控制电路,只要按要求加上电源和场、行复合同步脉冲,就可以产生符合时间和相位要求的寻址信号,能够完成像素的场、行扫描寻址任务。

(2)对比度调制功能:当某一像素被纵横母线选中时,该交叉点处的 TFT 管即导通,其接在源极的视频信号则通过导通的 TFT 管到达漏极而接到由像素电极与上基板的公共电极形成的小电容上,从而使该像素电极间的液晶分子加上电场而呈现光通路。

液晶体的透光强度与其两端电压幅值所呈现的关系如图 12-26 所示。

当施加电压低于其阈值电压 V_{th} 时液晶不透光,呈黑暗状态;当施加电压增大,并在 ΔV 之间时,液晶的透光度与施加电压的幅度基本成正比关系,即随所加电压幅值增大而变亮;当大于 V_s 时,即饱和电压时,液晶透光度不再增加。因此,只要调节施加在源极和公共电极间的视频信号幅度,即可在 V_{th} 和 V_s 之间调节像素点的透光度,从而控制显示对比度。

但是,值得注意的是,加在液晶 TFT 管源极和公共电极之间的电压,却不能像电视显像管阴极那样是一个固定极性的直流信号。因为液晶显示器内部的液晶分子如果处于单一极性的电场作用下,则会在直流电场中发生电解反应,使液晶分子按照不同的带电极性而分别趋向于正、负两极堆积发生极化作用,从而逐渐失去旋光特性而不能起到光阀作用,致使液晶显示屏工作寿命终止。因此,要正确使用液晶,不能采用显像管式的激励方式,而是既要向液晶施加电压以便调制对比度,而又要保证其所加电压符合液晶驱动要求,即不能有平均直流成分。具体的方法是在源极和公共电极上,分别加上极性相反的推挽电压,其情况如图 12-27 所示。

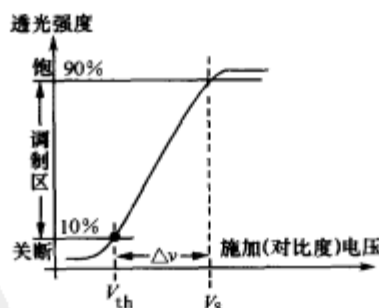


图 12-26 液晶显示器的电—光显示特性

也就是说,应在源极和公共电极上分别加上极性相反而幅度大小相等的交流电压。由于交流的极性不断变化倒相,故不会使液晶分子产生电解极化作用,而其所加电压又能控制其透光度,从而达到调整对比度的目的。

图 12-28 是施加在源极上的对比度调制(灰度阶梯)电压的真实波形。

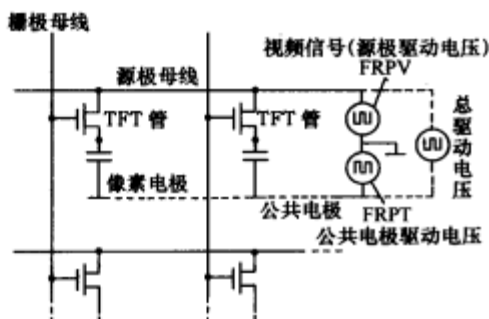


图 12-27 液晶的交流驱动

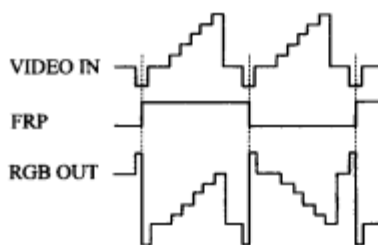


图 12-28 加到源极的波形

它是将视频信号与半行频方波 FRP 信号共同作用,产生两行之间互相倒相的视频信号。而在公共电极上则加上与 FRP 波形反相的信号,使两行信号间互成推挽关系,从而保证施加在液晶上的波形平均直流为零。

之所以要采用如此复杂的方式来驱动,首先是因为不产生平均直流的要求;其次是为了实现三基色的彩色显示的需要。因为像素电极有红、蓝、绿三组,但是公共电极只有一个,如果要像图 12-27 所示的方法来施加两组推挽电压,则对应于三种不同色彩的像素,在公共电极上所加的波形都应不同,但这是作不到的。所以要采用特殊的方法利用半行频倒相信号(FRP)与 R、G、B 三种视频信号混合,使各基色的源极上所加的视频信号产生每相邻两行相位反转的变化,而同时在公共电极上加上与源极半行频方波相位相反的方波(-FRP)。这样,实际上源极与公共电极间得到的信号其波形不会改变,但同一源极上两行之间的波形极性却相反,从而不会产生平均直流积累。由上可以感到当初液晶技术研发者的拳拳苦心。

综上所述,要驱动液晶显示屏达到显示图像的效果,必须完成像素的场、行扫描和视频信号的逐行反相达到推挽供电。以上电路是由安装在液晶屏周边的专用集成电路和外部驱动电路共同完成,只需要外部输入行场复合同步脉冲和经过逐行反相的 R、G、B 三基色视频信号。为了外电路能使三基色视频信号预先形成推挽方式的逐行反相关系,而由液晶屏内产生一对相位相反的控制电压(FRPT 和 FRPV)去控制外电路。

第五节 等离子显示屏(PDP)简介

在发光器件中,等离子显示器无疑是最近几年来人们最为看好的一种产品。它是继 CRT、LCD 后的新一代显示器,其特点是厚度小、分辨率佳,可以当家中的壁挂电视使用,代表了未来显示器的发展趋势。

一、等离子显示屏概述

等离子显示屏简称 PDP,是指所有利用气体放电而发光的平板显示器件的总称。它

属于冷阴极放电管,其利用加在阴极和阳极间一定的电压,使气体产生辉光放电。单色 PDP 通常直接利用气体放电时发出的可见光来实现单色显示,其放电气体一般选择纯氖气(Ne)或氖氙混合气(Ne-Ar)。彩色 PDP 则通过气体放电发射的真空紫外线(VUV)照射红、绿、蓝三基色荧光粉,使荧光粉发光来实现彩色显示,其放电气体一般选择含氙的稀有混合气体,如氖氙混合气(Ne-Xe)、氩氙混合气(He-Xe)或氦氖氙混合气(He-Ne-Xe)等。

等离子显示器最突出的特点是可做到超薄,并轻易做到 40 英寸以上的完全平面大屏幕,而厚度不到 100mm。等离子显示器具有体积小、重量轻、无 X 射线辐射的特点,由于各个发光单元的结构完全相同,因此不会出现普通 CRT 显像管的图像几何畸变。此外,等离子显示器还具有以下特点:屏幕亮度非常均匀而且没有亮区和暗区;不会受磁场的影响,具有更好的环境适应能力;屏幕不存在聚焦的问题,因此,完全消除了 CRT 显像管某些区域聚焦不良或年月已久开始散焦的顽症;不会产生 CRT 显像管的色彩漂移现象,表面平直也使大屏幕边角处的失真和色纯度变化得到彻底改善。同时,其高亮度、大视角、全彩色和高对比度,意味着 PDP 图像更加清晰,色彩更加鲜艳,感受更加舒适,效果更加理想,令传统显示设备叹为观止。

与 LCD 相比,PDP 具有亮度高、色彩还原性好、灰度丰富、对迅速变化的画面响应速度快等优点。PDP 视野开阔,视角宽广(高达 160°),能提供给使用者格外亮丽、均匀平滑的画面和前所未有的更大观赏角度。当然,等离子显示器的结构特殊也带来一些弱点。比如由于等离子显示器是平面设计,而且显示屏上的玻璃极薄,因此它的表面不能承受太大或太小的大气压力,更不能承受意外的重压;等离子显示器的每一像素都是独立地自行发光,相比于 CRT 显示器使用的电子枪而言,耗电量自然大增。一般等离子显示器的耗电量高于 300W,是不折不扣的耗电大户。由于发热量大,所以 PDP 显示器背板上装有多组风扇用于散热。另外,价格较高也是一个不足之处,随着大规模生产和市场的成熟必将使其价格有大幅度下降。

二、等离子显示屏的分类

PDP 按工作方式的不同主要可分为电极与气体直接接触的直流型(DC-PDP)和电极用覆盖介质层与气体相隔离的交流型(AC-PDP)两大类。而 AC-PDP 又根据电极结构的不同,可分为对向放电型和表面放电型两种。还有一种交直流混合型 PDP(AC/DC-PDP),它是通过阳极与阴极间的直流放电来寻址,通过一对存储片电极间的交流放电来提供存储特性和获得高亮度,但它现在仍处于实验阶段。

三、等离子显示屏的结构

等离子体显示屏的基本构造如图 12-29 所示。

等离子显示屏由三块薄的平板玻璃组成,中间一块称为孔板,上面开有排成矩阵形式的许多小孔,孔板紧贴着夹在两侧的两块玻璃中间,图中为了便于看清屏的结构,把三块玻璃板分开画了,孔板中的小孔被抽成真空,再装入一定压强的气体(比如氖和氙的混合气体),两侧玻璃板的外表面都有平行透明的导电电极,一块玻璃上的电极与另一块上的电极相垂直,并且都正好盖在小孔上面,因而每个充气小孔与两边的电极一起构成一个放电单元,在这种结构的屏里,电极与气体被玻璃隔开,互相绝缘,因而只能用交流供电,称

为交流等离子体显示屏。

在两侧的两组平行电极中,竖直的电极条确定放电单元(即像元)的 X 方向位置,水平电极条确定像元的 Y 方向的位置,在一对选定的竖直电极与水平电极之间加上一定的交变电压,在这两条电极交叉处的小孔(像元)就会产生放电而发出光来。

这种显示屏还具有存储性能,一旦外加电压使单元内的电场超过某个阈值,就开始放电,此时产生大量的离子和电子,这些离子和电子各自向单元两端迅速移动,形成和外部电压方向相反的端电压,从而使单元内实际电场下降,直到单元内停止放电。但是,单元内部建立起来的端电压,是由分离开的电子、离子形成的空间电荷造成的,端电压不会马上消失,而会继续保留一段时间,在下一个半周期中,外加电压的方向与端电压一致,互相叠加,因此,只要用较低的外部电压,就能使它重新开始放电,而原先未被启动(或已被擦除)的单元则不会产生放电,这时所加的外部电压称之为保持电压。

这种屏实际运行时,各单元保持电压由一个电源供给,为了控制屏上某一像元亮或不亮,可找出与该象元相应的 X、Y 电极(这称之为寻址),然后在这对正交的 X、Y 电极上,加上具有适当波形、幅度和相位的电压,来对选定的单元启动和擦除,一个单元一旦被启动,靠保持电压就可连续放电,在某一时刻加上与保持电压反向的擦除电压,就可使它停止放电。图 12-30 所示为这种等离子体显示屏的寻址、驱动电路原理图。

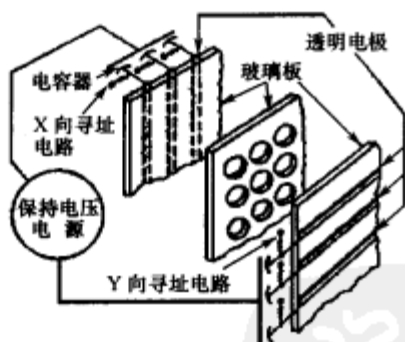


图 12-29 等离子显示屏的结构

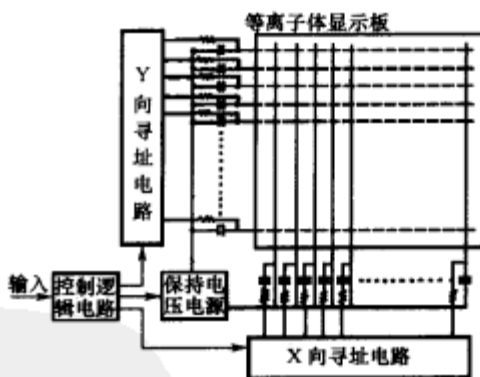


图 12-30 等离子体显示屏的
寻址、驱动电路原理图

因为这种显示器件可以靠放电产生的紫外线来激发发光,因而通过照射红、绿、蓝三基色荧光粉也可以实现彩色显示,所以等离子体显示屏是一种既有存储性又可实现彩色显示的平板显示器,可以用于各种计算、控制系统的数字信息的显示和用作壁挂式大型显示板。

这种显示器件还有一种有趣的性质,就是可以用光学方法来启动和擦除,这是靠光产生光电子,从而改变端电压来实现的。因而可以用光笔直接在显示板上书写或擦除信息,也可以把光学图像投影到显示板上,使多个单元同时启动,并把图像“固定”在屏幕上。

第十三章 集成电路的识别及检测

集成电路(英文缩写是 IC)是相对分立元器件而言的。将一些分立元器件、连接导线通过一定的工艺集中制作在陶瓷、玻璃或半导体基片上,再将整个电路封装起来,成为一个能够完成某一特定电路功能的整体,这就是集成电路。集成电路在体积、重量、耗电、寿命、可靠性及电性能指标方面,远远优于晶体管分立元件组成的电路,因而在家用电器等电子设备中得到了广泛的应用。本章主要介绍集成电路的一些基础知识。

第一节 集成电路的分类和主要技术参数

一、集成电路的分类

集成电路的品种相当多,按不同的分类方法可分成不同的集成电路。一般有以下几种分类方法。

1. 按功能分

按功能分类可分为模拟和数字集成电路。其功能不同可分为模拟集成电路和数字集成电路两大类。

1) 模拟集成电路

模拟集成电路用来产生、放大和处理各种模拟电信号,所谓模拟信号,是指幅度随时间连续变化的信号。例如,人对着话筒讲话,话筒输出的声频电信号就是模拟信号;收音机、收录机、音响设备及电视机中接收、放大的声频信号、电视信号,也是模拟信号。人们往往把模拟集成电路称做线性集成电路,这是由于早期的模拟集成电路几乎都属于线性电路的缘故。现在广义地把除数字集成电路以外的集成电路统称为模拟集成电路。模拟集成电路主要包括以下几种。

(1)集成运算放大器:运算放大器实际上是一种高放大倍数的直流放大器。当它配置适当的反馈电路后,能对信号进行加法、减法、乘法、除法、积分、微分、对数、反对数等运算,习惯上称它为运算放大器。它是模拟集成电路中应用最广泛的一种。

(2)集成稳压器:与分立元件构成的稳压器相比,集成稳压器具有性能稳定、可靠及使用方便等优点,发展十分迅速,是模拟集成电路的主要产品之一。

(3)电子设备中的模拟集成电路:这类模拟集成电路,主要用来对信号进行放大、变频、检波、鉴频、鉴相等。内电路中的基本单元电路是差分电路和双差分电路。随着家用电器的日新月异,这部分模拟集成电路的发展异常迅速,特别是电视机、显示器、摄像机用模拟集成电路,社会需求量极大,它已成为模拟集成电路中极其重要的一支。

(4)模/数(A/D)及数/模(D/A)转换器集成电路:这类集成电路既有模拟集成电路的功能,如缓冲放大、模拟开关、基准电源等,又有数字电路的功能,如寄存器、计数器等。在

自动化控制中应用极多,特别是随着微型计算机的推广使用,模/数及数/模转换器作为一个外部接口电路,得到了迅速的发展。它已成为模拟集成电路中的一个重要方面。

(5)其他模拟集成电路:主要包括信号发生器、缓冲器电路等。

2)数字集成电路

数字集成电路是用来产生、放大和处理各种数字电信号。所谓数字信号,是指在时间上和幅度上离散取值的信号。例如,电报电码信号,按一下电键,产生一个电信号。按电键是不连续的,因而产生的电信号也是不连续的。这种不连续的电信号,一般叫做电脉冲或脉冲信号;计算机中运行的信号同样是脉冲信号,但这些脉冲信号均代表着确切的数字,因而又叫做数字信号。在电子技术中,通常又把模拟信号以外的非连续变化的信号,统称为数字信号。数字集成电路主要包括以下几种。

(1)TTL 集成电路:主要有 54/74 系列标准 TTL、高速型 TTL(H-TTL)、低功耗型 TTL(L-TTL)、肖特基型 TTL(S-TTL)、低功耗肖特基型 TTL(LS-TTL)五个系列。

(2)CMOS 集成电路:这类集成电路是互补对称金属氧化物半导体集成电路的英文缩写。电路的许多基本逻辑单元都是用增强型 PMOS 场效应管和增强型 NMOS 场效应管按照互补对称的形式连接的,这些基本逻辑单元电路在稳定的逻辑状态下总是一个管子截止,一个管子导通,流经电路的电流截止晶体管的沟道泄漏电流,因此,静态功耗很小。目前,CMOS 集成电路主要分为 4000/4500 系列。

(3)ECL 集成电路:ECL 集成电路即发射极耦合集成电路。它是一种非饱和型数字逻辑电路,并消除了限制速度提高的晶体管存储时间,因此速度很快。由于 ECL 电路具有速度快、逻辑功能强、噪声低、引线串扰小和自带参考源等优点,所以广泛应用于高速大型计算机、数字通信系统、高精度测试设备和频率合成等方面。

(4)其他数字集成电路:主要包括存储器、微处理器、外围接口电路等。

2. 按制作工艺分

按制作工艺不同,可分为半导体集成电路和膜集成电路两大类。

1)半导体集成电路

半导体集成电路是采用半导体工艺技术,在硅基片上制作包括电阻、电容、三极管、二极管等元器件并具有某种电路功能的集成电路。

2)膜集成电路

膜集成电路是在玻璃或陶瓷片等绝缘物体上,以“膜”的形式制作电阻、电容等无源器件。无源元件的数值范围可以作得很宽,精度可以作得很高。但目前的技术水平尚无法用“膜”的形式制作晶体二极管、三极管等有源器件,因而使膜集成电路的应用范围受到很大的限制。在实际应用中,多半是在无源膜电路上外加半导体集成电路或分立元件的二极管、三极管等有源器件,使之构成一个整体,这便是混合集成电路。根据膜的厚薄不同,膜集成电路又分为厚膜集成电路(膜厚为 $1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$)和薄膜集成电路(膜厚为 $1\mu\text{m}$ 以下)两种。

3. 按集成度高低分

按集成度高低不同,可分为小规模、中规模、大规模及超大规模集成电路 4 类。对模拟集成电路,由于工艺要求较高、电路又较复杂,所以一般认为集成 50 个以下元器件为小规模集成电路,集成 50 个~100 个元器件为中规模集成电路,集成 100 个以上的元器件

为大规模集成电路。对数字集成电路,一般认为集成 1 个~10 个等效门(片)或 10 个~100 个元件(片)为小规模集成电路,集成 10 个~100 个等效门(片)或 100 个~1000 个元件(片)为中规模集成电路,集成 10^2 个~ 10^4 个等效门(片)或 10^3 个~ 10^5 个元件(片)为大规模集成电路,集成 10^4 或 10^5 以上个元件(片)为超大规模集成电路。

4. 按导电类型分

按导电类型不同,分为双极型集成电路和单极型集成电路两类。前者频率特性好,但功耗较大,而且制作工艺复杂,绝大多数模拟集成电路以及数字集成电路中的 TTL、ECL 型属于这一类。后者工作速度低,但输入阻抗高、功耗小、制作工艺简单、易于大规模集成,其主要产品为 CMOS 型集成电路。

二、集成电路的主要技术参数

集成电路的主要技术参数分为电参数和极限参数两大类。

1. 电参数

各种用途的集成电路的电参数的具体项目是不一样的,最基本的有以下几项(通常是在典型直流工作电压下测量)。

1) 静态工作电流

静态工作电流是指不给集成电路信号输入引脚加上输入信号的情况下,电源引脚回路中的直流电流,这一参数对检修集成电路故障具有重要的意义。通常,集成电路的静态工作电流均给出典型值、最小值、最大值。这一电参数对修理中的故障判断是有益的。如果此时集成电路的直流工作电压正常,且集成电路的接地引脚可靠接地,当测得集成电路静态电流大于或小于它的最大值、最小值时,说明集成电路发生了故障。

2) 增益

增益是指集成电路放大器的放大能力,通常标出开环增益和闭环增益两项,也分别给出典型值、最小值、最大值三项指标。在常规检修手段下(只有万用表一种检测仪表),无法测量集成电路的增益,只有使用专门的仪器才能进行增益测量。

3) 最大输出功率

最大输出功率是指在信号失真度为一定值时(通常为 10%),集成电路输出引脚所输出的电信号功率,一般也分别给出典型值、最小值、最大值三项指标,这一参数主要针对功率放大器集成电路。当集成电路的输出功率不足时,某些引脚上的直流工作电压也出现了变化,通过测量发现集成电路上的引脚直流电压异常,就能发现故障部位。

2. 极限参数

集成电路的极限参数主要有以下几项。

1) 电源电压

电源电压是指可以加在集成电路电源引脚与地端引脚之间直流工作电压的极限值,使用中不能超过此值,否则将会损坏集成电路。

2) 功耗

功耗是指集成电路所能承受的最大耗散功率,主要用于功率放大器集成电路。

3) 工作环境温度

工作环境温度是指集成电路在工作时的最低和最高环境温度。

4) 储存温度

储存温度是指集成电路在储存时的最低和最高温度。

第二节 集成电路的识别

一、集成电路的外形和符号识别

1. 集成电路的外形

常用集成电路的外形如图 13-1 所示。

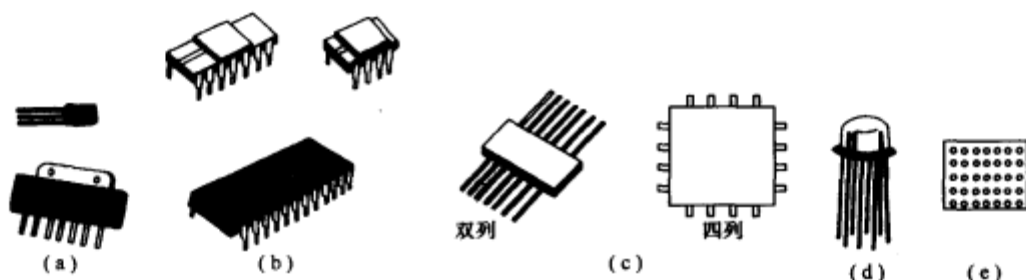


图 13-1 常用集成电路的外形

图 13-1(a)是单列的集成电路,所谓单列是指集成电路的引脚只有一列(单列集成电路的外形还有许多种)。图(b)是双列直插的集成电路,它的引脚分成两列对称排列,双列集成电路产品最为常见。图(c)是双列和四列扁平封装(又称 QFP 封装)的集成电路。四列扁平封装引脚分成四列对称排列,每一列的引脚数目相等。贴片式集成电路和数字集成电路常采用这种引脚排列方式。图(d)是金属外壳的集成电路,它的引脚分布呈圆形,现在这种集成电路已较少见到。图(e)是栅格阵列引脚封装的集成电路,又称 BGA 封装,是一个多层的芯片载体封装,这类封装的引脚在集成电路的“肚皮”底部,引线是以阵列的形式排列的,所以引脚的数目远远超过引脚分布在封装外围的封装。利用阵列式封装,可以省去电路板多达 70% 的位置。BGA 封装充分利用封装的整个底部来与电路板互连,而且用的不是引脚而是焊锡球,因此还缩短了互连的距离,BGA 集成电路在目前手机电路中得到了广泛的应用。

2. 集成电路的符号

集成电路的文字符号通常用 IC 表示,IC 是英文 Integrated Circuit 的缩写。在国产电器的电路图中,还有用 JC 表示的。集成电路的电路符号比较复杂,变化也比较多,图 13-2 是集成电路的几种电路符号。

集成电路的电路符号所表达的具体含义很少,这一点不同于其他电子元器件的电路符号,通常只能表达这种集成电路有几根引脚,至于各个引脚的作用,集成电路的功能是什么,等等,电路符号中均不能表示出来。

二、集成电路的型号识别

在识别和分析集成电路时,都要了解集成电路的型号,集成电路的型号印在集成电路的正面,其命名方法如下。

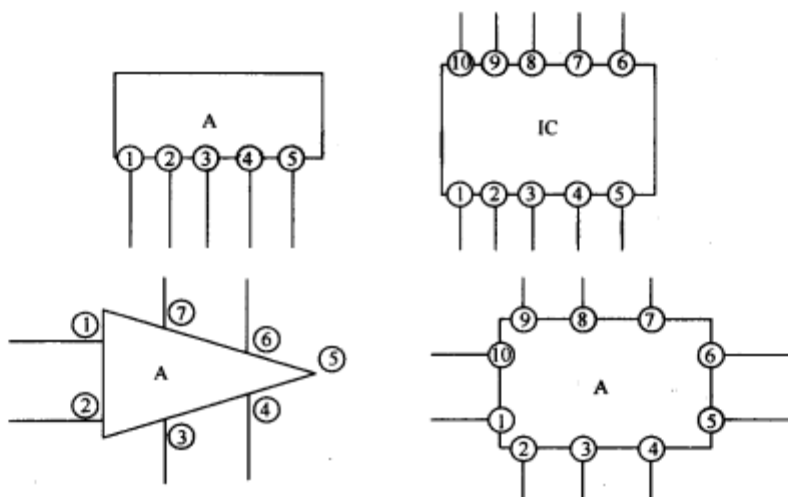


图 13-2 集成电路的电路符号

1. 我国集成电路型号命名方法

1) 国标规定的集成电路型号命名方法

最新的国标规定,我国生产的集成电路型号由五部分组成,以前各生产厂家的规定全部作废。国产集成电路的型号具体组成情况如下。

C	B	××××	C	B
第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分
字头符号	电路类型	电路型号数	温度范围	封装形式

第一部分含义:集成电路型号中的第一部分用一个字母 C 表示符合国家标准的集成电路。

第二部分含义:集成电路型号中的第二部分用字母表示电路的类型,可以是一个大写字母,也可以是两个大写字母,具体含义见表 13-1。

表 13-1 集成电路第二部分字母含义

字母	第二部分表示的含义(电路的类型)
AD	模拟数字转换器
B	非线性电路(模拟开关;模拟乘、除法器;时基电路;锁相器;取样保持电路等)
C	CMOS 电路
D	音响类电路;电视机类电路
DA	数字模拟转换器
E	ECL 电路
F	运算放大器;线性放大器
H	HTL 电路
J	接口电路(电压比较器;电平转换器;线电路;外围驱动电路)
M	存储器
S	特殊电路(机电仪表电路;传感器;通信电路;消费类电路)
T	TTL 电路
W	稳压器
μ	微型计算机电路

第三部分含义:集成电路型号中的第三部分用数字或字母表示产品的代号,与国外同功能集成电路保持一样代号,即国产的集成电路与国外的集成电路第三部分代号一样时,为全仿制集成电路,不仅电路结构、引脚分布规律等同国外产品相同,还可以直接与国产集成电路代换使用。

第四部分含义:集成电路型号中的第四部分用一个大写字母表示工作温度,具体含义见表 13-2。

表 13-2 集成电路第四部分含义

字母	第四部分表示的含义(工作温度范围℃)	字母	第四部分表示的含义(工作温度范围℃)
C	0~70	R	-55~85
E	-40~85	M	-55~152

第五部分含义:集成电路型号中的第五部分用一个大写字母表示封装形式,具体含义见表 13-3,共有七种。

表 13-3 集成电路第五部分含义

字母	第五部分表示的含义(封装形式)	字母	第五部分表示的含义(封装形式)
D	多层陶瓷,双列直插	K	金属,菱形
F	多层陶瓷,扁平	P	塑料,双列直插
H	黑瓷低熔玻璃,扁平	T	金属,圆形
J	黑瓷低熔玻璃,双列直插		

国标还规定,凡是家用电器专用集成电路(音响类、电视类)的型号,一律采用四部分组成,将第一部分的字母省去,用 D××××××形式。

2) 非国标规定的集成电路型号命名方法

除国标规定的集成电路型号外,还会遇到一些早期生产的集成电路,它们采用非国标规定的集成电路型号命名方法,如下所示就是这种型号命名方法。

××	××××
第一部分用数字和字母 表示工厂产品代号	第二部分用数字或 字母表示产品品种代号

第一部分采用字母或是数字来表示集成电路生产厂家的产品代号,与国际上的集成电路型号标注方法一样。

第二部分则是用数字或字母表示集成电路产品和品种代号,也与国际上的集成电路型号标注法一样。

表 13-4 所示是国内非国标集成电路生产厂家的字头符号,供使用、识别和代换时参考。

2. 进口集成电路型号命名方法

这里介绍几种常见的进口集成电路生产厂家的型号组成及命名方法,供选配集成电路时参考。

表 13-4 国内非国标集成电路生产厂家的字头符号

字头字符	生产厂家	字头字符	生产厂家
D	国产集成电路标准字头	FS	贵州都匀四四三三厂
B、BO、BW、5G	北京市半导体器件五厂	FY、FZ	上海八三三一厂
BGD	北京半导体器件研究所	LD	西安延河无线电厂
BH	北京半导体器件三厂	NT	南通晶体管厂
CA	广州音响电器厂	SL、5G	上海无线电十六厂
CH	上海无线电十四厂	SG	长沙四四三一厂
CF、GF	常州半导体厂	TB	天津半导体器件五厂
DG	北京八七八厂	W	北京半导体器件五厂
F、XFC	甘肃秦七四九厂	X、BW	电子工业部第二十四研究所
F、FC、SF	上海无线电七厂	XG	国营新光电工厂
FD	苏州半导体器件总厂	19	上海无线电十九厂

表 13-6 日本日立公司集成电路型号各部分具体含义

第一部分		第二部分		第三部分	第四部分		第五部分	
字头	含义	数字	含义	用数字表示电路型号	字母	含义	字母	含义
HA	模拟电路	11	高频用		A	改进型	P	塑料
HD	数字电路	12	高频用					
HM	存储器(RAM)	13	音频用					
HN	存储器(ROM)	14	音频用					

3) 日本东芝公司(TOSHIBA)

日本东芝公司生产的集成电路型号由以下三部分组成。

TA	××××	P
第一部分字头符号	第二部分电路型号数	第三部分封装形式

表 13-7 是日本东芝公司集成电路型号的具体含义。

表 13-7 日本东芝公司集成电路型号具体含义

第一部分		第二部分	第三部分	
字母	含义	用数字表示电路型号数	字母	含义
TA	双极线性		A	改进型
TC	CMOS		C	陶瓷封装
TD	双极数字		M	金属封装
TM	MOS		P	塑料封装

4) 日本松下电器公司(PANASONIC)

日本松下电器公司生产的集成电路型号由以下两部分组成。

AN	××××
第一部分字头符号	第二部分电路型号数

表 13-8 是日本松下电器公司集成电路型号的具体含义。

表 13-8 日本松下电器公司集成电路型号含义

第一部分		第二部分
字母	含义	用字母表示电路型号数
AN	模拟电路	
DN	双极性数字电路	

5) 日本三菱电机公司(MITSUBISHI)

日本三菱电机公司生产的集成电路型号由以下五部分组成。

M	5	1	95	P
第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分
字头符号	温度范围	电路类型	电路型号数	封装形式

表 1-9 是日本三菱电机公司生产的集成电路型号的具体含义。

表 1-9 日本三菱电机公司集成电路型号含义

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分	
字母	含义	字母	含义	数字	含义	用数字表示 电路型号数	字母	含义
M	三菱公司 产品	5	工业、商品	0	CMOS		K	玻璃—陶瓷
		8	军用	1	线性		P	塑料
				3	TTL		S	金属—陶瓷
				10—19	线性电路			

6) 日本电气公司(NEC)

日本电气公司生产的集成电路型号由以下五部分组成。

UP	C	××××	C	X(S)
第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分
字头符号	电路类型	电路型号数	封装形式	电路性能

表 1-10 所示是日本电气公司集成电路型号具体含义。

表 1-10 日本电气公司集成电路型号具体含义

第一部分		第二部分		第三部分	第四部分		第五部分	
字母	含义	字母	含义	用数字表示 电路类型号	字母	含义	字母	含义
UP	微型器件	C	线性		C	塑料封装	S	改进型
		A	分立器件		D	陶瓷双列		
		B	数字双极					
		D	CMOS 数字					

三、集成电路的引脚识别

在集成电路的引脚排列图中,可以看到它的各个引脚编号,如①脚、②脚、③脚等,检修、更换集成电路过程中,往往需要在集成电路实物上找到相应的引脚。下面根据集成电路的不同封装形式,介绍各种集成电路的引脚分布规律。

1. 单列集成电路引脚分布规律

单列集成电路有直插和曲插两种,两种单列集成电路的引脚分布规律相同,但在识别引脚号时则有所差异。

1) 单列直插集成电路

所谓单列直插集成电路就是它的引脚只有一列,且引脚为直的(不是弯曲的),这类集成电路的引脚分布规律如图 13-3 所示。

在单列直插集成电路中,一般都有一个用来指示第一根引脚的标记。图(a)所示集成电路,正面朝着自己,引脚向下,左侧端有一个小圆坑或其他标记,是用来指示第①脚位置的,即左侧端点的引脚为第一根引脚,然后依次从左向右为各引脚。

图(b)所示集成电路的左侧上方有一个缺角,说明左侧端点第一根引脚为①脚,依次从左向右为各引脚。

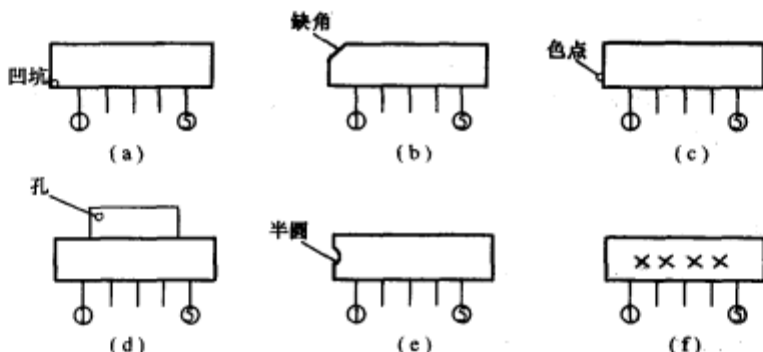


图 13-3 几种单列直插集成电路引脚分布示意图

图(c)所示集成电路左侧有一个色点,用色点表示第一根引脚的位置,也是从左向右依次为各引脚。

图(d)所示集成电路,在散热片左侧有一个小孔,说明左侧端第一根引脚为①脚,依次从左向右为各引脚。

图(e)所示集成电路中左侧有一个半圆缺口,说明左侧端第一根引脚为①脚,依次从左向右为各引脚。

在单列直插集成电路中,会出现图(f)所示集成电路,在外形上无任何第一根引脚的标记,此时可将印有型号的一面朝着自己,且将引脚朝下,则最左端为第一根引脚,依次为各引脚。

根据上述几种单列直插集成电路引脚分布规律,除图(f)所示集成电路外(这种情况很少见),其他集成电路都有一个较为明显的标记(缺角、孔、色点等)来指示第一根引脚的位置,而且都是自左向右依次为各引脚,这是单列直插集成电路的引脚分布规律,以此规律可以很方便地识别各引脚号。

2) 单列曲插集成电路

单列曲插集成电路的引脚也是呈一系列排列的,但引脚不是直的,而是弯曲的,即相邻两根引脚弯曲方向不同。图 13-4 是几种单列曲插集成电路的引脚分布规律示意图。

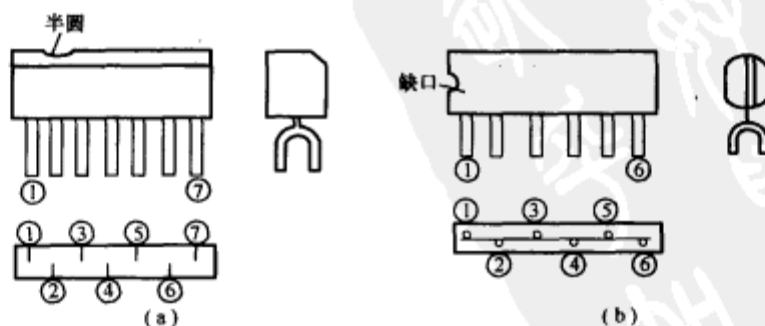


图 13-4 几种单列曲插集成电路的引脚分布规律示意图

在单列曲插集成电路中,将正面对着自己,引脚朝下,一般情况下集成电路的左边也有一个用来指示第一根引脚的标记。

图(a)所示的曲插集成电路中,它的左侧顶端上有一个半圆口,表示左侧端点第一根

引脚为①脚,然后自左向右依次为各引脚,见图中引脚分布所示。从图中可以看出,①、③、⑤、⑦单数引脚在弯曲一侧,②、④、⑥双数引脚在弯曲另一侧。

图(b)所示的曲插集成电路中,它的左侧有一个缺口,此时最左端引脚为第一根引脚①脚,自左向右依次为各引脚,也是单数引脚在一侧排列,双数引脚在另一侧排列,见图中引脚分布所示。

当集成电路上无明显标记时,可将集成电路型号一面朝着自己,引脚向下,然后最左侧第一根引脚是集成电路的①脚,从左向右依次为各引脚,且也是单数的引脚在一侧,双数引脚在另一侧。

2. 双列集成电路引脚分布规律

双列直插集成电路是使用量最多的一种集成电路,这种集成电路的外封装材料最常见的是塑料,也可以是陶瓷,集成电路的引脚分成两列,两列引脚数相等,引脚可以是直插的,也可以是贴片式的。

图 13-5 是 4 种双列直插集成电路的引脚分布示意图。

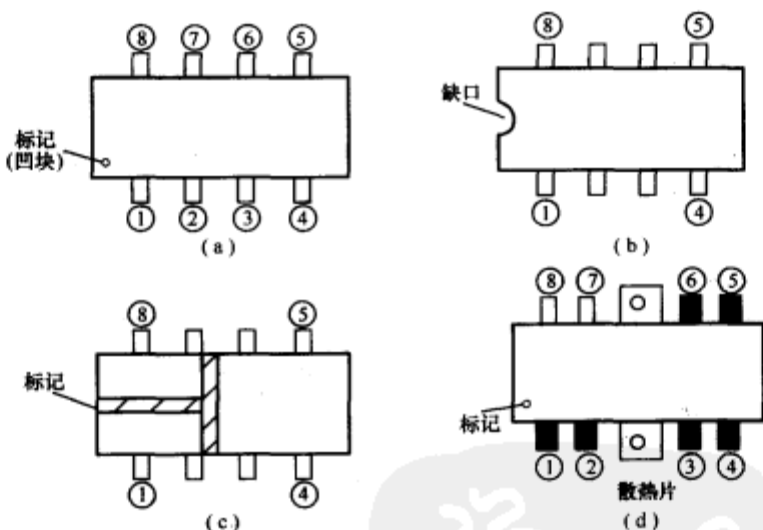


图 13-5 4 种双列直插集成电路的引脚分布示意图

在双列直插集成电路中,将印有型号的一面朝上,并将型号正对着自己,这时集成电路的左侧下方会有不同的标记来表示第一根引脚。

图(a)所示双列直插集成电路中,它的左下端有一个凹坑标记,这用来指示左侧下端点第一根引脚为①脚,然后从①脚开始逆时针方向沿集成电路的一圈,各引脚依次排列,见图中的引脚排列示意图。

图(b)所示双列直插集成电路中,它的左侧有一个半圆缺口,此时左侧下端点的第一根引脚为①脚,然后逆时针方向依次为各引脚,具体引脚分布见图中所示。

图(c)所示是陶瓷封装双列直插集成电路,它的左侧有一个标记,此时左下方第一根引脚为①脚,然后逆时针方向依次为各引脚,见图中引脚分布所示。注意,如果将这一集成电路标记的放到右边时,引脚识别方向就错了。

图(d)所示双列直插集成电路中,它的引脚被散热片隔开,在集成电路的左侧下端有一个黑点标记,此时左下方第一根引脚为①脚,也是逆时针方向依次为各引脚(散热片

不算)。

图 13-6 所示是无引脚识别标记的双列直插集成电路。

它无任何明显的引脚识别标记,此时可将印有型号的一面朝着自己正向放置,则左侧下端第一个引脚为①脚,逆时针方向依次为各引脚,参见图中引脚分布。

3. 四列集成电路引脚分布规律

四列集成电路的引脚分成四列,且每列的引脚数相等,所以这种集成电路的引脚是 4 的倍数。四列集成电路常见于贴片式集成电路、大规模集成电路和数字集成电路中,图 13-7 是四列集成电路引脚分布示意图。

将四列集成电路正面朝上,且将型号朝着自己,可见集成电路的左下方有一个标记,左下方第一根引脚为①脚,然后逆时针方向依次为各引脚。如果集成电路左下方没有这一识别标记,也是将集成电路如同图示一样放好,将印有型号面朝上,且正向面对自己,此时左下角的即为①脚。

4. 金属封装集成电路引脚分布规律

采用金属封装的集成电路现在已经比较少见,过去生产的集成电路常用这种封装形式。图 13-8 是金属封装集成电路的引脚分布示意图。

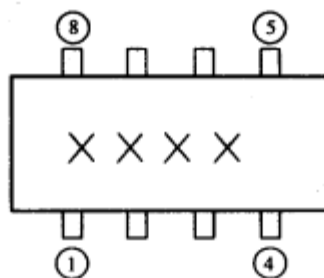


图 13-6 引脚识别标记的双列直插集成电路

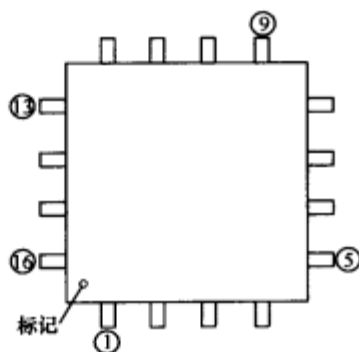


图 13-7 四列集成电路引脚分布示意图

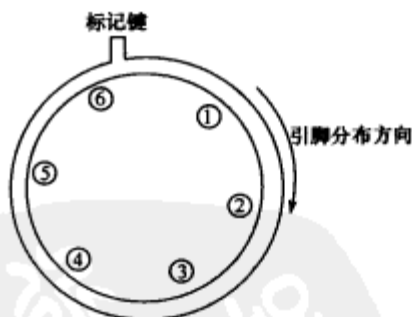


图 13-8 金属封装集成电路引脚分布示意图

这种集成电路的外壳是金属圆帽形的,引脚识别方法为:将引脚朝上,从突出键标记端起为①脚,顺时针方向依次为各引脚。

5. 反向分布集成电路引脚分布规律

前面介绍的集成电路引脚分布规律和识别方法均为引脚正向分布的集成电路,即引脚是从左向右依次分布,或从左下方第一根引脚逆时针方向依次分布,集成电路的这种引脚分布为正向分布,但集成电路引脚还有反向分布的。

引脚正向、反向分布规律可以从集成电路型号上看出,例如声频功放集成电路 HA1166W 引脚为正向分布,HA1366WR 引脚为反向分布,它们的不同之处是在型号最后多一个大写字母 R。R 表示这一集成电路的引脚为反向分布。

像 HA1366W 和 HA1366WR 这样引脚正、反向分布的集成电路,其内部电路结构、性能参数相同,只是引脚分布相反。HA1366W 的第一根引脚为 HA1366WR 的最后一

根引脚,HA1366W 的最后一根引脚为 HA1366WR 的第一根引脚。

同型号的正向、反向集成电路之间进行直接代换时,对于单列直插集成电路可以反个方向装入即可,对于双列集成电路则要将换上的集成电路装到原线路板的背面。

6. BGA 封装的集成电路引脚分布规律

由于 BGA 封装的集成电路的引脚在集成电路的肚皮底下,不能像其他封装的集成电路那样进行定义,其定义方法是:行用英文字母 A、B、C……表示,列用数字 1、2、3……表示,用行和列的组合来表示引脚,如 A₂、B₃ 等。

第三节 集成电路的检测、拆卸和焊接

一、集成电路的检测

对于集成电路的质量检测,应了解它在电路中的作用,各引脚的电气参数与其他元件的相互关系等,有的放矢地采取必要的手段来进行检测。下面介绍检测集成电路质量的几种方法,供维修时参考。

1. 干扰法

干扰检查法是一种检查声频集成电路的一种十分有效的好方法,其基本原理是:人体能感应许多信号,当用手握住螺丝刀去接触集成电路放大器的信号输入引脚时,人身上的杂乱感应信号便被送入放大器电路中放大。当集成电路放大器工作在正常状态时,人身上的这些感应信号被施加到放大器传输线路的热端,这些信号的热端可以是集成电路的信号输入引脚,或是放大器中的耦合电容的一根引脚,或是电路中放大管的基极、集电极、发射极。人身的干扰信号加入集成电路放大器后,经过放大器放大这些干扰信号,从集成电路的信号输出引脚输出,然后加到扬声器中,扬声器便能发出人身感应响声。如果集成电路放大器出现了故障,集成电路就不能放大干扰信号了,扬声器无声或所发出的声音小,显像管屏幕上的杂波没有或很少。

1) 干扰检查点确定方法

干扰点选择应该是放大器信号传输的热端,而不是冷端(地线),如干扰耦合电容器的两根引脚等,而不能去干扰地线。

对于集成电路放大器而言,可干扰信号输入引脚和信号输出引脚,但是对功率放大器集成电路,干扰信号输出引脚是错误的,这时不会有干扰响声和杂波出现,这是因为功率放大器集成电路信号输出引脚之后的电路中没有放大环节,干扰信号本身很小,不足以推动扬声器发出干扰响声。

2) 注意事项

运用干扰检查法时,应注意以下几点。

(1) 干扰检查法并不适合检查所有功能的集成电路,通常只适合检查内电路中含放大器的集成电路,对于电源类的集成电路(例如三端稳压集成电路),干扰检查法无效。

(2) 对于集成电路放大器可以采用快速检查的方法,即先干扰集成电路的信号输出引脚,在扬声器或屏幕上有正常的响声。杂波之后,再直接干扰集成电路的信号输入引脚,应该是响声和杂波更大,否则说明这一集成电路出了故障。

(3)当所要检查的电路中存在放大环节时,干扰前级应比干扰后级的响声大;当存在衰减环节时,则干扰后级比前级要响;分别干扰耦合电容的两根引脚时,干扰响声应该一样。

(4)对于彩色电视机的集成电路故障,切不可采用上述干扰方法,因为许多彩色电视机的线路板上是带电的(对大地存在 220V 电压),不能用手握住螺丝刀直接去接触线路板,可以采用测量电压的方式用表棒断续接触电路中的测试点,在断续接触中就能给电路施加干扰信号,效果相同。

(5)干扰低放电路时,音量电位器动片位置不影响扬声器的响声大小,但干扰音量电位器动片或低放电路输入端耦合电容的两根引脚时,电位器应该开大,不能关死。

2. 短路法

短路检查法主要用于修理噪声大故障(或电视机的杂波大故障),噪声大故障的特点是电路会自发地产生“信号”,即噪声。短路检查法通过对电路中一些测试点的短接(主要是信号传输热端与地端之间的短接),故意地使这部分电路不工作,当使它们不能工作时,噪声也随之消失,扬声器中也就没有噪声出现了。这样通过短路、比较便能发现产生噪声的部位,找出具体的故障原因。

1) 短路检查点确定方法

对于声频类放大电路,短路检查法一般只需要检查音量电位器之前或之后的电路,无须两部分都去检查。在运用短路法之前将音量电位器关死,若扬声器仍有噪声,说明故障部位出现在音量电位器之后电路,只须短路检查音量电位器之后的低放电路;关死音量后,噪声消失,说明故障在音量电位器之前的电路中,此时调节音量电位器,噪声大小受控制,只需要检查电位器之前的电路。

对于集成电路放大器而言,对地短接点是信号的输入引脚,对集成电路的信号输出引脚一般不能进行对地短接,以防止集成电路过载。

对于三极管放大电路而言,短接检查是将三极管的基极和发射极用螺丝刀直接短接,这样短接后三极管的基极偏置电压为零,三极管处于截止状态不工作,不仅三极管本身的噪声不能产生,前级电路中的噪声也因为三极管截止而不能传输到后级电路中,达到短路检查的目的。

除短接三极管的基极和发射极可以用螺丝刀直接短接外,其他情况下的短接一般都不能直接对地短接,而是要用电容进行交流信号的短接。对于音频电路可以用 $10\mu\text{F}$ 的电解电容进行短接,对于高频电路可以用 $0.01\mu\text{F}$ 的电容器进行短接。

这种检查法只适合于放大电路的噪声故障检查,对于啸叫故障则无能为力,因为啸叫故障的产生范围是某一个环路电路,当短接这一环路中的任何一处时,都将破坏产生啸叫的幅度或相位条件而使啸叫声消失,所以无法进行正确的判断。对于视频类电路而言,这种检查方法可以用来检修杂波大的故障。

2) 注意事项

使用短路检查法的过程中应注意以下几点。

(1)在电路中的高电位点对地短接检查时,不能用镊子进行短接,要用电容对地短接交流通路,以保证电路中的直流高电位不变,所用电容的容量大小与所检查电路的工作频率有关,能让噪声通过的电容即可。用电解电容去短接时要特别注意电容器的正、负极

性,正极接电路的高电位。另外,采用电容短接时要注意噪声变化,因为电容不一定能够将所有噪声信号短接到地端,噪声有明显减小就行,这一步搞不好就不能达到预期检查目的,运用短路检查时一定要注意这一点。

(2)对于电源电路(整流、滤波、稳压),切不可用短路检查方法检查交流声大的故障,因为电源短路将引起电路中其他元器件的损坏。

(3)对于噪声时有时无故障的检查,短路点应用导线焊好,或焊上用于短接的电容,然后检查故障现象是否仍然存在。

3. 参照检查法

参照检查法是利用一个工作正常的同型号家用电器、一张电路结构十分相近的电原理图、立体声音响设备的一个声道电路等为标准参照物,运用移植、比较、借鉴、引伸、参照、对比等手段,查出具体的故障部位。简单地讲,这一检查方法是通过与一个标准物的对比,发现故障部位。理论上讲,参照检查法查找故障部位可以是万能的,可以查出各种各样的故障原因,因为只要对标准物、故障机器进行系统的、仔细的对比,必能发现工作正常机器和有故障机器在电路的某个部位上电压或电流不相同之处。但是,如此使用参照检查法费功费时,必须进行有选择地科学运用参照检查法,才能获事半功倍之效果。

1) 参照检查法确定故障点

对于集成电路,在线路板上找到集成电路实物,然后查看它的具体型号,再去查阅集成电路手册中的典型应用电路,用集成电路手册中的这一典型应用电路图来指导修理。集成电路手册中的典型应用电路与实用电路之间相当接近,可以用来作为电路分析和故障检修的参照电原理图。

修理双声道音响设备某一个声道的故障时,可以用另一个工作正常的声道作为标准参照物。

利用另一台同型号机器作为标准参照物。例如,测量好的与坏的机器上相同功能的集成电路各引脚直流工作电压,进行每个引脚的直流工作电压值对比,电压值不相同的引脚及外电路就是故障所在。

2) 注意事项

在运用参照检查法过程中要注意以下几点。

(1)避免盲目采用参照法,因为这样工作量很大,应在其他检查法做出初步判断后,对某一个比较具体的部位再运用参照法。

(2)参照检查过程的操作要正确,如果在正常机器上采集的数据不准确,就无法进行比较,将把检查带入错误的方向中。

4. 电压测量法

电压检查法是检查集成电路最为有效和常用的检查手段。电子线路在正常工作时,电路中各点的工作电压表征了一定范围内元器件、电路的工作情况,当出现故障时相关部位的测试点工作电压必然发生改变。电压检查法运用万用表,查出这一电压异常情况,并根据电压的变异情况和电路工作原理作出推断,即可找出具体的故障原因和部位。由于电压检查法是并联测量,无须变动电路,所以操作起来相当方便。

1) 电压检查法确定故障点

一般电压检查法主要是测量集成电路中关键测试点的直流电压,必要时也可以测量

交流电压等。在检查时,应重点检查电路中的关键测试点电压,这些关键测试点主要是集成电路的电源脚、信号输入脚和信号输出脚,以及一些重要的控制脚上的直流电压。

在没有所要检查的集成电路各引脚标准工作电压数据时,要利用各引脚外围电路的特征来判别引脚电压的明显异常现象。实在无法确定时,可找另一台相同型号的电器设备,通过实测相同部位的集成电路各引脚直流电压来进行比较、分析,这一检查方法的结果是十分准确的。

集成电路引脚电压发生异常时,对电容只要怀疑它是否击穿、漏电,对电感线圈只要怀疑它是否开路,对电阻器只要怀疑它是否开路和短路。

当集成电路中有多个引脚电压同时发生改变时,往往是一个故障原因引起的,因为集成电路内电路各级间采用直接耦合方式,各级电路之间直流电压会相互影响。如若集成电路与其他电路的连接引脚是采用阻容耦合时,那么各引脚电压偏差的故障是由于集成电路本身造成的。如若输入端或输出端采用直接耦合(无隔直电容),那么也有可能是前级或后级电路故障造成集成电路的多个引脚直流电压发生偏差。

集成电路电源引脚直流工作电压不正常(通常是直流工作电压低于正常值),若其他各引脚电压也不正常,应重点检查电源引脚的外电路。在排除外电路出现故障的可能后,说明集成电路有问题,当电源引脚上直流工作电压低时,很可能是集成电路电源引脚内电路存在短路故障。

一些专用集成电路,有些引脚的直流工作电压与电源引脚上的工作电压之间有固定的比例关系,这对无集成电路各引脚标准电压的情况下检查故障是很有用的。例如,OTL 功率放大器集成电路的信号输出引脚直流电压等于电源引脚上直流电压的一半;OCL 功率放大器集成电路的信号输出引脚直流电压等于 0V;BTL 功率放大器集成电路的两根信号输出引脚直流电压相等,或是等于电源引脚上直流电压的一半,或是等于 0V。

在各种集成电路中,电源引脚上的直流电压是最高的,在没有任何资料时也应该知道这一点。

整机直流工作电压在空载时比工作时要高,高出愈多说明电源的内阻愈大。所以,在测量直流电压时要在机器进入工作状态下进行。

2) 注意事项

电压检查法使用不当会出现问题,所以要注意以下几点。

(1)在测量很小的音频信号电压(例如测量话筒输出信号电压)时,要选择好量程,否则测不到、测不准,影响正确判断。

(2)有标准电压数据时,将测量的电压值与标准值对比;在没有标准数据时电压检查法的运用有些困难,要根据各种具体情况进行分析和判断。

(3)标称电压有静态与动态之分,集成电路的某些引脚在有信号与无信号时,测得的电压值差别很大。

(4)注意外围电路故障会引起引脚的电压变化。外围电路短路、断路及元件的损坏,都可能引起集成电路引脚电压异常。

(5)减小测量误差。不同电压表的内阻是不同的,在测量时电表内阻与被测电路并联,因而带来测量误差。一般情况下,应选用内阻大于 $20\text{k}\Omega/\text{V}$ 的万用表。同时还应注意,不同的电阻挡测量时对电路电压的影响也会有差异。

如果了解集成电路各引脚的功能及动态情况下的技术参数,也可用动态电压观察法来检测。把万用表打在直流电压挡,再直接并联在电路的相应测试点上,然后使电路进入到动态工作后再切换到静态,同时观察测试点的电压变化,进而判断电压变化是否符合电路的逻辑功能。

5. 电流检查法

在检修电路时,有时需要通过测量整机直流工作电流的大小来判断故障性质,因为这一电流能够大体上反映出电路的工作状态。当工作电流很大时,说明电路中存在短路现象;工作电流很小时,说明电路存在开路故障。

电流检查法主要是测量电路中流过某一测试点的直流电流的有无和大小,以直流电流大小情况来判断交流电路的工作情况,从而能够找出故障原因。电流检查法采用串联测量方式,所以检查中的操作比较烦琐。

1) 电流检查法确定故障点

根据电路图指示,找出集成电路的电源引脚是哪一根引脚,将集成电路电源引脚上铜箔线路切断,然后将万用表置于直流电流挡(适当量程),黑表棒接电源引脚铜箔线路断口,红表棒接断口的另一端,让直流电流从红表棒流入,从黑表棒流出。给电路通电,但不给集成电路加入信号,此时表中所指示的电流值为集成电路的静态直流工作电流。查阅有关集成电路手册,对照测量的实际电流。若实际所测量的电流值在最小值和最大值之间,说明集成电路直流电路基本工作正常,不存在内部短路或开路故障,重点检查集成电路外围电路中的电容是否开路;如若实际电流大于最大值许多,说明集成电路有短路故障的可能;如若实际电流为零或远小于最小值,则说明集成电路有开路或局部开路故障。

2) 注意事项

使用电流检查法检查集成电路静态电流过程中,要注意以下几方面的问题。

(1)需要有所要检查集成电路的静态工作电流数据,这一资料在集成电路手册中通常能够查到。

(2)由于电流检查法操作不够方便(电流表要串联在电源引脚回路中),往往是在电压检查法已大体认为集成电路有故障后,为了多方面证实故障原因才采取的检查步骤。一般不首先使用电流检查法。

(3)集成电路静态工作电流要在无输入信号的情况下才能测量准确,不加输入信号的方法有多种,各种用途集成电路有不同的方法。

(4)要注意红、黑表笔的接线位置,否则会使表针反向偏转。另外,在测试完毕要记住即时焊好断口。

(5)对集成电路的电流检查主要是用来判断集成电路的静态工作电流大小,对于一些集成电路的软性故障,由于在集成电路静态工作电流上不能明显反映出,这时采用电流检查法收效不佳。

(6)对于发热、短路故障,测量电流时要注意通电时间越短越好,做好各项准备工作后再通电,以免无意中烧坏元器件。

6. 电阻检查法

当集成电路工作失常时,阻值状态会发生变化,如阻值变大或变小等,电阻检查法要查出这些变化,根据这些变化判断故障部位。

1) 电阻法确定故障点

测量时要使用同一只万用表,同一个电阻挡位,以减小测量误差。电阻检查法可以对不同机型、不同结构的集成电路进行检测,但须相同型号的正常集成电路作为参照。

电阻检查法分为在路测量和拆机后测量两种方法。当在路测量不能完全确定集成电路损坏时,此时可将集成电路拆下后再测量集成电路各引脚对接地脚的对地电阻,若和正常值有不一致,说明集成电路损坏。

2) 注意事项

运用电阻检查法时应注意不能在通电情况下使用电阻检查法。

7. 逻辑分析法

所谓逻辑分析法是指若怀疑某一集成电路有问题,可先测量该集成电路的输入信号是否正常,再测量集成电路的输出信号是否正常,若有输入而无输出,在供电正常、外围元件正常的情况下,可断定集成电路损坏。

8. 排除法

排除法是指维修中若判断某一部分电路(包含有集成电路)有故障,可先检测此部分电路的分立元件是否正常,若分立元件正常,则说明集成电路有问题,应考虑更换集成电路。此法不需要集成电路的参考资料,而且不必了解内部工作原理,在维修中经常使用。

二、集成电路的拆焊

拆焊集成电路并不是一件易事,由于它引脚多,所以不能像对待普通元器件那样来拆焊集成电路。下面介绍几种常见集成电路的拆卸方法,并简要说明扁平集成电路的焊接方法。

1. 直插式集成电路的拆卸方法

直插式集成电路的焊接较简单,下面重点说明直插式集成电路的拆卸方法。

1) 用吸锡烙铁拆卸

吸锡烙铁首先是一个电烙铁,它是一个能够熔解焊锡的特殊电烙铁,同时它还具有吸掉焊锡的功能。使用吸锡烙铁拆卸集成电路的方法是:让电烙铁预热,压下吸锡烙铁上的一个压缩开关,然后将电烙铁头部的孔套在集成电路露出的引脚上(在线路板的背面,有焊点的一面),过一会儿后,引脚焊点上的焊锡被电烙铁熔解,然后按动烙铁上的开关,听到一声响声后开始吸锡,将引脚焊点上的焊锡吸掉。再次压下吸焊烙铁上的压缩开关,用同样的方法一次一次地吸掉集成电路各引脚上的焊锡。集成电路各引脚上焊锡全部清除后,用螺丝刀沿集成电路边沿轻轻地撬起,集成电路便可整体脱离线路板。

在采用这种方法拆卸集成电路时要注意,由于一般吸锡烙铁吸锡效果不佳,一根引脚要吸多次才能吸尽引脚上的焊锡。

2) 用针头拆卸

用一个医用挂水针头也可以拆卸集成电路,方法是:先清除电烙铁头部的所有焊锡,用电烙铁熔解集成电路一根引脚上的焊锡,然后迅速伸入针头,同时移开烙铁,左右旋转针头,这样针头便将该引脚与线路板之间焊锡切断,使引脚脱开了线路板。用同样的方法,一一切割集成电路各引脚上的焊点,便能将集成电路从线路板上整体脱出。

用针头拆卸集成电路无需专用工具,操作比较方便,要选择适当大小的针头。

3) 用吸锡绳拆卸

取一段吸锡绳(一种像编织网一样的金属网线,网中的空隙用来储存焊锡,元器件商店有售),将电烙铁上的焊锡甩干净,再将吸锡绳放在松香上,用电烙铁熔解松香,使吸锡绳上粘些松香,以方便吸取焊锡。拆卸集成电路时,将吸锡绳放在集成电路的引脚上,用电烙铁隔着吸锡绳给集成电路引脚的焊点加热,此时集成电路引脚上的焊锡熔解后会被吸锡绳吸入网孔内,一会儿后,吸锡绳网孔内的焊锡就吸满了,这时移开电烙铁和吸锡绳,用手将吸锡绳上的焊锡用力向外甩掉。然后,再按同样的方法吸去集成电路其他引脚上的焊锡,通过这样的操作直到将集成电路全部引脚表面上的焊锡吸光。

吸光集成电路各引脚上焊锡后有时并不能取下集成电路,这是因为在集成电路引脚与铜箔线路板之间会留有一些余锡,这时,用电烙铁将有余锡引脚左右活动一下,使之与余锡脱开即可。

2. 扁平封装的集成电路拆卸方法

扁平封装的集成电路装在线路板的铜箔线路一面,它的引脚是扁平的,线路板上没有引脚孔,这样吸锡烙铁、针头等一些吸锡工具对它无能为力,这时只能采用一些特殊的拆卸方法。下面介绍几种常用的拆卸方法。

1) 用吸锡绳拆卸

这种方法前面已有介绍,这里不再重复。

2) 用刀切法拆卸

这种方法是废弃集成电路,保护印制电路板的一种方法,因为线路板的线密而细,在维修中一旦损坏电路板即使是一两根引线,要焊接起来,同时又要将新的集成电路焊接好,也是一项很艰巨的工作,因此在修理时,一旦判断某个集成电路已经损坏,就可以将该集成电路和各个引脚用锋利的刀片切断,取下集成电路,然后,再清除印制板上的引脚,这样就可以在不损坏电路板的情况下拆卸集成电路。这种方法要求维修人员对集成电路是否损坏判断要准确,否则,会造成不必要的损失。

3) 用拉线法拆卸

取一根直径 $\Phi 0.1\text{mm} \sim 0.15\text{mm}$ 的高强度漆包线,固定在适当的位置,另一端从集成块引脚下穿出,用尖嘴烙铁顺次将引脚焊锡熔化后,将漆包线从该引脚下横向拉出,利用漆包线不挂锡的特点,使各引脚与印制电路板分离,拆完一面引脚后,用同样的方法继续拆另外三面的引脚,该方法速度较慢,但拆下的集成块由于引脚未断仍可使用,因此,十分适合于一时难以判断集成块是否损坏的情况。

4) 用气体烙铁拆卸

目前,市场上有多种气体烙铁出售,常见的有热气流喷枪和喷明火的焊枪。这种烙铁与传统的电烙铁不同,不是用电加热,而是用甲烷(打火机气体)。这种焊枪体积很小,携带方便,便于上门维修,特别是停电时,仍可正常工作。使用时,先对烙铁进行充气,向前推前面的旋钮并顺时针旋转,可听见气体喷出声,点燃气体后,即可喷出尖锐的火焰,顺时针旋转可加强火力,反时针旋转可减弱火力,调节火焰的长度为0.5英寸左右为合适的火焰,用火焰对所要拆卸的表面安装集成电路的四周引脚进行均匀加热,当引脚熔化后,用镊子将集成电路取下即可。这种方法方便、易学,十分适合初学者和专业维修人员,如果拆卸熟悉,对集成电路和电路板几乎没有任何损坏,而且价格便宜,多在100元~400元

左右。

5) 用热风塑料焊枪拆卸

这种焊枪,市面上销售的较多,而且价格也很便宜,仅 100 多元,常见的规格有 500W、1000W 和 1500W。使用时,应仔细观察焊脚上的焊锡是否熔化,印制电路板是否变色,将集成电路加热到最佳温度,然后,用一只小镊子轻挑集成块即可。

6) 用 850 热风枪拆卸

热风枪是一种贴片元件和贴片集成电路的拆焊、焊接工具,最早的热风枪依赖于国外进口,价格高昂。较常用的是日本白光 850 热风拆焊台,价格为一万多元,多为国营单位购买,国内的需求量也不是很大。近几年,随着我国移动通讯的迅猛发展,热风拆焊台的需求也随着增长。850 热风枪的品牌也多了起来。星光 850、快克 850、安泰 850、豹威 850、三箭 850、傲月 850 等品牌迅速进入维修工具市场。进口的 850 热风拆焊台受到冲击价格一落再落。国产的 850 热风拆焊台的质量、性能在用户的不断检验中逐渐完善起来。同时,也有一些品牌只顾眼前利益粗制滥造而被淡出市场。

850 热风枪由气泵、线性电路板、气流稳定器、外壳、手柄组件组成。性能较好的 850 热风枪采用 850 原装气泵。具有噪声小、气流稳定的特点,而且风流量较大,一般为 27L/min; NEC 组成的原装线性电路板,使调节符合标准温度(气流调整曲线),从而获得均匀稳定的热量、风量;手柄组件采用消除静电材料制造,可以有效地防止静电干扰。

拆卸前应做好以下准备工作:

- (1) 记住集成电路的定位情况,以便正确恢复。
- (2) 根据不同的集成电路选好热风枪的喷头。
- (3) 往集成电路的引脚周围加注松香水。

拆卸时应掌握以下技巧:

(1) 调好热风枪的热度和风速。拆卸集成电路时热量开关一般调至 3 挡~6 挡,风速开关调至 2 挡~3 挡。

(2) 用单喷头拆卸时,应注意使喷头和所拆集成电路保持垂直,并沿集成电路周围引脚慢速旋转,均匀加热,喷头不可触及集成电路及周围的外围元件,吹焊的位置要准确,且不可吹跑集成电路周围的外围小件。

(3) 待集成电路的引脚焊锡全部熔化后,用小起子或镊子将集成电路掀起或镊走,且不可用力,否则,极易损坏集成电路的锡箔。

3. 扁平封装的集成电路的焊接方法

扁平封装的集成块拆下后,下面就是安装好的集成块,这同样是一道十分细致和难度较大的工序,焊接时,根据手头所拥有的工具的不同,可采用下面两种方法的一种。

1) 用热风枪焊接

如果手头上有热风枪,焊接扁平封装的集成电路相对容易一些。方法如下:

将焊接点用平头烙铁整理平整,必要时,对焊锡较少焊点应进行补锡,然后,用酒精清洁干净焊点周围的杂质。把需要更换的集成电路和电路板上的焊接位置对好,最好用放大镜进行调整,使之完全对正。焊接时,先用尖头烙铁焊好集成电路的四脚,使集成电路固定,然后,再用热风枪吹焊四周。焊好后应注意冷却,不可立即去动集成电路,以免其发生位移。

冷却后,用放大镜检查集成电路的引脚有无虚焊,若有,应用尖头烙铁进行补焊,直至全部正常为止。

2)用电烙铁焊接

由于热风枪价格相对较高,一般维修人员可能并不拥有此设备,此时可采取以下方法进行焊接。

将新的集成块按照原拆卸的位置对好位置,一只手按住集成块正面,另一只手用烙铁先将集成块四个引脚固定,固定好后,即可采用平头烙铁用按压方法焊其余各脚,注意烙铁头不要加焊锡,用头部按压各引脚(一次可同时按压几个引脚),利用原引线的铜箔上的余锡将新集成块焊牢(注意拆时,不要用吸锡网吸掉原印线上的余锡),这种操作动作要快,否则易烫坏引线铜箔,一次不成,可反复几次,直至不出现引脚脱焊、虚焊现象为止。在多次焊接过程中,烙铁一定不要长时间和电路板某一处相接触,以免烧伤电路板,造成不必要的损失。

4. BGA 集成电路的拆卸和焊接方法

BGA 集成电路在手机中应用较多,它采用精密的光学贴片仪器进行安装,误差只有 0.01mm,而在实际的维修工作中,大部分维修者并没有贴片机之类的设备,只能凭热风枪和植锡工具进行拆卸和焊接,特别是焊接时难度极大。关于 BGA 集成电路的拆卸和焊接方法这里不作详细论述,有兴趣的读者可以参考手机维修的相关书籍。



第十四章 集成稳压器的识别与检测

集成稳压器是指将功率调整管、取样电阻、基准电压、误差放大、启动及保护电路等全部集成在一块芯片上,具有特定输出电压的稳压集成电路。集成电路稳压器具有稳定性好、输出电压纹波小、成本低廉等优点,在家用电器及电子设备的电源电路中应用十分广泛。

第一节 三端固定电压集成稳压器

一、78××系列三端固定正压集成稳压器

1. 78××系列集成稳压器的特性

78××系列三端固定正压集成稳压器已经成为世界通用系列产品。国外产品有美国NC公司的LM78××、美国仙童公司的 μ A78××、摩托罗拉公司的MC78××、意大利SGS公司的L78××、东芝公司的TA78××、日电公司的 μ PC78××,以及日立公司的HA78××等多种型号。我国的产品则以W78××系列表示。表14-1是78××系列产品国内外型号对照表。

表 14-1 78××系列集成稳压器国内外型号对照表

国内型号	主要参数	国外产品对应型号
W7805	$V_o=5V$ $I_o=1.5A$	LM7805 μ A7805
W7806	$V_o=6V$ $I_o=1.5A$	LM7806 μ A7806
W7808	$V_o=8V$ $I_o=1.5A$	LM7808 μ A7808
W7810	$V_o=10V$ $I_o=1.5A$	LM7810 μ A7810
W7812	$V_o=12V$ $I_o=1.5A$	LM7812 μ A7812
W7815	$V_o=15V$ $I_o=1.5A$	LM7815 μ A7815
W7818	$V_o=18V$ $I_o=1.5A$	LM7818 μ A7818
W7824	$V_o=24V$ $I_o=1.5A$	LM7824 μ A7824
W78L05	$V_o=5V$ $I_o=100mA$	LM78L05 μ A78L05
W78L06	$V_o=6V$ $I_o=100mA$	LM78L06 μ A78L06
W78L09	$V_o=9V$ $I_o=100mA$	μ A78L09
W78L10	$V_o=10V$ $I_o=100mA$	LM78L10 μ A78L10
W78L12	$V_o=12V$ $I_o=100mA$	LM78L12 μ A78L12
W78L15	$V_o=15V$ $I_o=100mA$	LM78L15 μ A78L15
W78L18	$V_o=18V$ $I_o=100mA$	LM78L18 μ A78L18

(緯)

国内型号	主要参数	国外产品对应型号
W78L24	$V_o=24V$ $I_o=100mA$	LM78L24 $\mu A78L24$
W78M05	$V_o=5V$ $I_o=500mA$	LM78M05 $\mu A78M05$
W78M06	$V_o=6V$ $I_o=500mA$	LM78M06 $\mu A78M06$
W78M08	$V_o=8V$ $I_o=500mA$	LM78M08 $\mu A78M08$
W78M09	$V_o=9V$ $I_o=500mA$	LM78M09 $\mu A78M09$
W78M10	$V_o=10V$ $I_o=500mA$	LM78M10 $\mu A78M10$
W78M12	$V_o=12V$ $I_o=500mA$	LM78M12 $\mu A78M12$
W78M15	$V_o=15V$ $I_o=500mA$	LM78M15 $\mu A78M15$
W78M18	$V_o=18V$ $I_o=500mA$	LM78M18 MC78M18
W78M24	$V_o=24V$ $I_o=500mA$	LM78M24 $\mu A78M24$

78××系列三端固定正压集成稳压器的特点是体积小、性能优良、保护功能完善、可靠性高、成本低廉,以及使用简便、无需调试等。常见外形如图 14-1 所示。

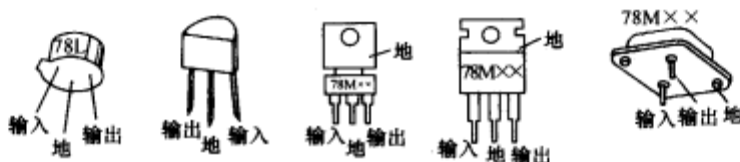


图 14-1 78××系列产品的外形

V_i 为直流电压的输入端, V_o 为稳定电压的输出端, GND 为公共地端。

2. 78××系列集成稳压器的应用

78××系列产品的原理框图如图 14-2 所示。

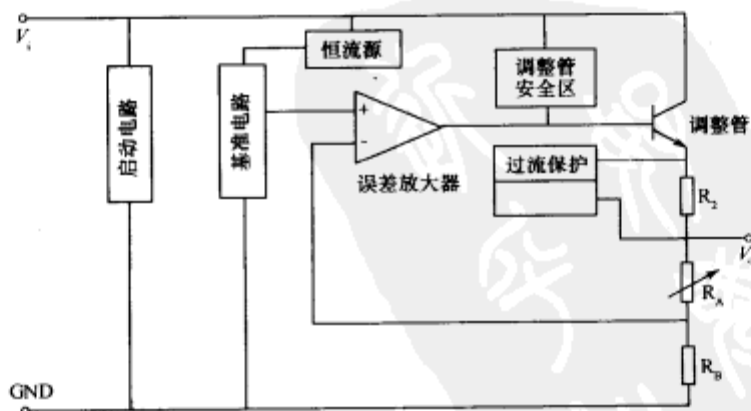


图 14-2 78××系列产品的原理框图

它是由启动电路、基准电路、误差放大器、调整管及过流、过热保护等单元电路组成。
78××稳压器的典型应用电路如图 14-3 所示。

220V 交流市电经变压器降压,再经桥式整流、滤波后,加到 $78\times\times$ 稳压器的输入端

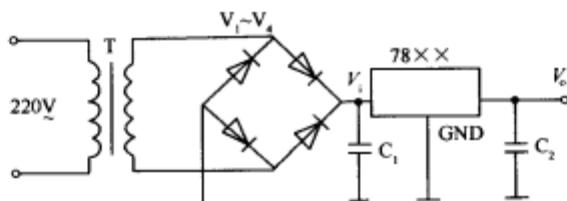


图 14-3 78××稳压器的典型应用电路

(V_1), 从输出端便可输出稳定的标称直流电压(V_0)。电容 C_1 既可用来减小 V_1 的纹波, 又有抑制输入端瞬态过电压的作用。输出端的电容 C_2 能改善负载的瞬态响应。

另外, 用几块三端固定集成稳压电路并联的方法还可以用来扩大输出电流。例如, 如果需要一个能输出 1.5A 以上电流的稳压电源, 最简单、实用的办法是把两块或几块集成稳压器并联起来使用, 其最大输出电流为 $N \times 1.5\text{A}$ (N 为并联的集成稳压器的个数)。图 14-4 是一个能输出 2A 电流的稳压电源的电路图。

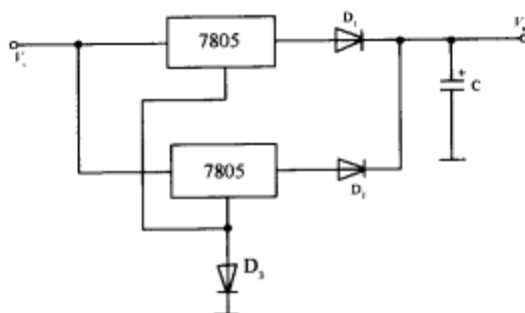


图 14-4 三端稳压器的并联使用

电路中, 由于两块集成稳压器的参数不完全一致, 必须使用两只二极管相互隔离(如图 14-4 所示), D_2 的作用是提升稳压块的地电位, 以保证输出电压与原输出一致。

3. 78××系列集成稳压器使用注意事项

(1) 78××系列集成稳压电路的输入、输出和接地端装错时很容易损坏, 须特别注意。同时, 在安装时三端集成稳压器的接地端一定要焊接良好, 否则在使用过程中, 由于接地端的松动, 会导致输出端电压的波动, 易损坏输出端上的其他电路, 也可能损坏集成稳压器。另外, 在拆装集成稳压电路时要先断开电源; 输出电压大于 6V 的集成稳压电路的输入、输出端须接一保护二极管(二极管正极接输出端, 负极接输入端), 可防止输入电压突然降低时, 输出电容对输出端放电引起集成稳压器的损坏。

(2) 正确选择输入电压范围。三端集成稳压电路是一种半导体器件, 内部管子有一定的耐压值。为此, 变压器的绕组电压不能过高, 整流器的输出电压的最大值不能大于集成稳压电路的最大输入电压。7805~7820 的最大输入电压为 35V, 7824 的最大输入电压为 40V。由于集成稳压器有一个使用最小压差(输入电压与输出电压的差值)的限制, 所以变压器的绕组电压也不能过低。集成稳压器的最小输入、输出电压差约为 2.5V。一般应使这一压差保持在 6V 左右。表 14-2 给出了几种常见稳压器的主要参数。

表 14-2 几种常见稳压器的主要参数

稳压器	输出电压/V	输入电压/V	最小输入电压/V	最大输出电压/V
W7805	05	10	7.5	35
W7806	06	11	8.5	35
W7808	08	14	10.5	35
W7809	09	15	11.5	35
W7810	10	17	12.5	35
W7812	12	19	14.5	35
W7815	15	23	17.5	35
W7818	18	27	20.5	35
W7820	20	29	22.5	35
W7824	24	33	26.5	40

(3)保证散热良好。对于用集成稳压器组成的大功率稳压电源,应在集成稳压电路上安装足够大的散热器。当散热器的面积不够大,而内部调整管的结温达到保护动作点附近时,集成稳压电路的稳压性能将变差。

4. 78××集成稳压器的检测

对 78××集成稳压器的检测,可分为电阻法和在路电压测试法两种。

1)电阻法

用万用表电阻挡测出各管脚间的电阻值,然后与正常值相比较,若出入较大,则说明被测 78××稳压器性能有问题。表 14-3 是用 500 型万用表 R×1k 挡实测的 7805、7812、7815 和 7824 的电阻值,可供测试时对照参考。

表 14-3 78××系列稳压器实测电阻值

红表笔所接管脚	黑表笔所接管脚	正常阻值/kΩ	红表笔所接管脚	黑表笔所接管脚	正常阻值/kΩ
GND	V_i	15~50	V_o	GND	3~7
GND	V_o	5~15	V_o	V_i	30~50
V_i	GND	3~6	V_i	V_o	4.5~5.5

需要说明的是:78××系列集成稳压器各管脚之间的电阻值随生产厂家不同、稳压值不同以及批号不同均有一定差异,所以在测试时要灵活掌握,具体分析。

2)在路电压测试法

在路电压测试法就是不必将待测的稳压器从电路上拆下来,直接用万用表的电压挡去测量稳压器的输出端电压是否正常。此法既简单又可靠。测试时,所测输出端电压应在稳压器标称稳压值±5%内。否则,说明稳压器性能不良或已经损坏。

注意事项:在测试时,为了防止发生误判,还应测量一下输入端的电压 V_i ,输入端电压应比输出端的标称输出电压高 3V 以上,例如,被测稳压器为 7805(输出 5V),则 V_i 应至少为 8V,但不能超过最大值 35V。

另外,对于有些型号字迹不清的 78××稳压器,也可通过测量输出端的电压来确定稳压器的实际稳压值。

二、79××系列三端固定负压集成稳压器

1. 79××系列集成稳压器的特性

79××系列集成稳压器是固定负压输出的集成稳压器,它的种类与参数基本与78××系列固定正压输出的集成稳压器相对应。图14-5是79××系列稳压器的外形图。

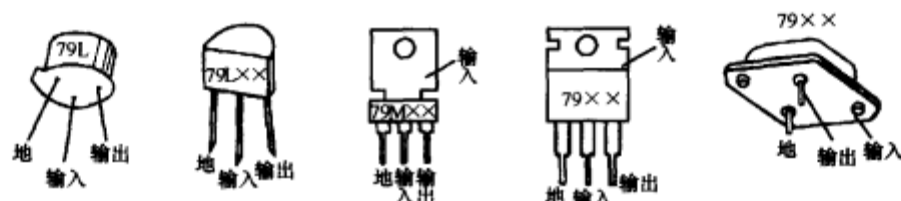


图14-5 79××系列稳压器的外形图

从图14-5中可以看出,79××系列稳压器管脚排列顺序与78××系列稳压器有很大的区别,使用时必须加以注意。

2. 79××系列集成稳压器的应用

79××稳压器的原理框图如图14-6所示。

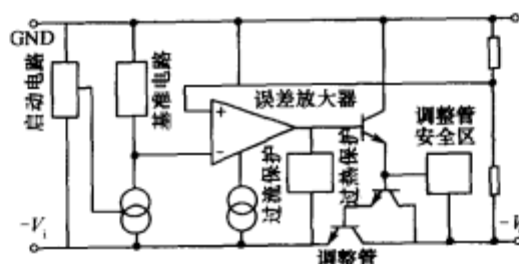


图14-6 79××稳压器的原理框图

79××稳压器的原理框图与78××系列产品相似,也是由动电路、基准电路、误差放大器、调整管及过流、过热保护电路等单元组成。79××产品与78××产品的主要区别是内部调整管的集电极接 $-V_o$ 。

79××系列稳压器的典型应用电路如图14-7所示。

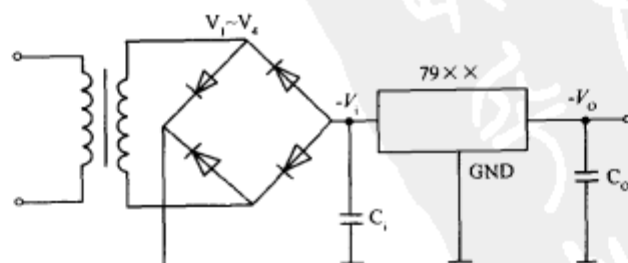


图14-7 79××系列稳压器的典型应用电路

220V交流市电经变压器降压,再经桥式整流器整流、滤波后,加到79××稳压器的输入端($-V_i$),经稳压后在输出端便可输出稳定的标称直流电压($-V_o$)。

使用79××系列稳压器须注意的事项,除了与78××系列产品的使用注意事项相同的几点外,还应特别注意,部分79××外壳为 $-V_i$ 的输入端,不得与机器的机壳相连通,

加装散热器时,散热器也必须与机器可靠绝缘。

3. 79××系列集成稳压器的检测

79××系列集成稳压器的检测方法与检测 78××稳压器相似,也有两种检测方法。

1)电阻法

用万用表测出 79××稳压器各管脚间的电阻值并与正常值相比,可判断稳压器正常与否。表 14-4 是用 500 型万用表实测的 7905、7912、7924 型稳压器管脚间的正常电阻值,可供检测时对照参考。

表 14-4 实测 79××系列稳压器的电阻值

红表笔所接管脚	黑表笔所接管脚	正常阻值/kΩ	红表笔所接管脚	黑表笔所接管脚	正常阻值/kΩ
GND	-V _i	4~5	-V _o	GND	2.5~3.5
GND	-V _o	2.5~3.5	-V _o	-V _i	4~5
-V _i	GND	14.5~16	-V _i	-V _o	18~22

与 78××系列稳压器一样,79××系列稳压器各管脚之间的电阻值也随生产厂家的不同、电压值的不同以及批号的不同而有一定的差异,测试时要具体分析。

2)在路电压测试法

测试时,所测输出端电压应在稳压器标称稳压值±5%内。否则,说明稳压器性能不良或已经损坏。

三、29××低压差集成稳压器的检测

1. 29××低压差集成稳压器的特性

虽然 78××和 79××系列三端集成稳压器具有稳定性能好、输出电压纹波小、成本低廉等突出优点,但由于它们的调整管与负载相串联,调整管上的压降较大,因而在工作时,输入与输出之间的电压差值较大(一般都在 3V 以上),这使得稳压器的功耗较高,效率相对变低,一般为 30%~45%。

近年来问世的低压差稳压器采用了电流控制型,能将芯片内部调整管的输入、输出电压差 $V_i - V_o$ 减小到 0.6V 左右,因此使效率大为提高。表 14-5 为 29××系列低压差稳压器的性能指标。CW 为国内产品,LM 为美国 NC 公司产品。

表 14-5 29××系列低压差稳压器的性能指标

型号	输出电流	输出电压	主要特性
CW2930 LM2930	150mA	5V	0.6V 压差,有电池接反、过流、过热保护
CW2931 LM2931	150mA	5V 连续可调	同上
CW2935 LM2935	750mA	5V 双路	同上
CW2940 LM2940	1.5A	5V,8V	同上

常见 29××系列低压差稳压器的外形如图 14-8 所示。

2. 低压差集成稳压器的外形及应用

低压差集成稳压器的应用电路较简单,如图 14-9 所示。



图 14-8 29××系列低压差稳压器外形

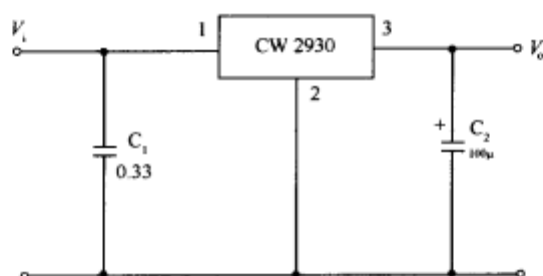


图 14-9 低压差集成稳压器的应用电路

图 14-9 中, V_i 为脉动直流输入电压, V_o 为稳定直流输出电压。 C_1 和 C_2 分别为输入、输出滤波电容。

另外,须特别注意的是,低压差集成稳压电路的内部工作电流是随着输出的增加而加大的,并且该工作电流是经 GND 端流入地的。所以,它不能采用在 GND 端和地之间加接一只电阻在小范围内调整输出电压,这就是低压差三端稳压电路与 78 系列三端稳压电路的不同之处,其他注意事项与普通三端集成稳压器基本相同。

3. 29××系列低压差集成稳压器的检测

现以国产 CW2930 低压差集成稳压器为例介绍检测方法。CW2930 的外形和管脚排列如图 14-8(a)所示。检测时可采用测量各管脚间的电阻值来判其好坏。表 14-6 是用 500 型万用表 R×1k 挡实测的 CW2930 稳压器各管脚之间的正常阻值,可供检测时对照参考。

表 14-6 实测 CW2930 各管脚间电阻值

红表笔所接管脚	黑表笔所接管脚	正常阻值/kΩ	红表笔所接管脚	黑表笔所接管脚	正常阻值/kΩ
GND	V_i	24	V_o	GND	4
GND	V_o	4	V_o	V_i	32
V_i	GND	5.5	V_i	V_o	6

另外,也可采用在路电压测试法进行检测,即用万用表直流电压挡测出 CW2930 的实际输出电压值来进行性能优劣的判断。

第二节 三端可调集成稳压器

一、三端可调集成稳压器的特性

三端可调集成稳压器分正压输出和负压输出两种,主要区别见表 14-7。

表 14-7 三端可调集成稳压器的种类及区别

类型	产品系列及型号	最大输出电流 I_{OM}	输出电压 V_o
正压输出	LM117L/217L/317L	0.1A	1.2V~37V
	LM117M/217M/317M	0.5A	1.2V~37V
	LM117/217/317	1.5A	1.2V~37V
	LM150/250/350	3A	1.2V~33V
	LM138/238/338	5A	1.2V~32V
	LM196/396	10A	1.2V~15V
负压输出	LM137L/237L/337L	0.1A	-1.2V~-37V
	LM137M/237M/337M	0.5A	-1.2V~-37V
	LM137/237/337	1.5A	-1.2V~-37V

三端可调集成稳压器有以下几个突出特点:

(1)使用起来非常方便,只须外接两个电阻就可以在一定范围内确定输出电压。

(2)各项性能指标都优于三端固定式集成稳压器。

(3)具有全过载保护功能,包括限流、过热和安全区域的保护,即使调节端悬空,所有的保护电路仍然有效。

总之,三端可调集成稳压器是一种使用方便、应用广泛的稳压集成电路。表 14-8、表 14-9 和表 14-10 分别列出了几种常用三端可调集成稳压器的主要参数及引脚排列,供应用时参考。

表 14-8 三端可调正压集成稳压器主要参数(LM117/217/317 系列)

参数 \ 型号	LM117	LM217	LM317
最大输入电压/V	40	40	40
输出电压/V	1.2~37	1.2~37	1.2~37
最大输出电流/A	1.5	1.5	1.5
电压调整率/(%/V)	0.01	0.01	0.01
电流调整率/%	0.1	0.1	0.1
最小负载电流/mA	3.5	3.5	3.5
调整端电压/V	50	50	50
基准电压/V	1.25	1.26	1.25
工作温度/°C	-55~150	-25~-150	0~125
管脚排列	如图 14-10 所示		

表 14-9 三端可调正压集成稳压器主要参数(LM138/238/338)

参数 \ 型号	LM138	LM238	LM338
最大输入电压/V	35	35	35
输出电压/V	1.2~32	1.2~32	1.2~32
最大输出电流/A	5	5	5
电压调整率/(%/V)	0.005	0.005	0.005

(续)

参数	型号	LM138	LM238	LM338
电流调整率/%		0.1	0.1	0.1
最小负载电流/mA		3.5	3.5	3.5
调整端电流/ μ A		45	45	45
基准电压/V		1.24	1.24	1.24
工作温度/ $^{\circ}$ C		-55~150	-25~150	0~125
管脚排列	如图 14-11 所示			

表 14-10 三端可调负压集成稳压器主要参数(LM137/237/337)

参数	型号	LM137	LM237	LM337
最大输入电压/V		-40	-40	-40
输出电压/V		-1.2~-37	-1.2~-37	-1.2~-37
最大输出电流/A		1.5	1.5	1.5
电压调整率/%		0.01	0.01	0.01
电流调整率/%		0.3	0.3	0.3
最小负载电流/mA		2.5	2.5	2.5
调整端电流/ μ A		65	65	65
基准电压/V		-1.25	-1.25	-1.25
工作温度/ $^{\circ}$ C		-55~150	-25~150	0~125
管脚排列	如图 14-12 所示			

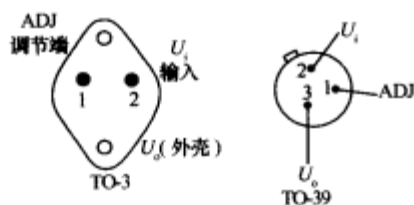


图 14-10 LM117、217、317 管脚排列

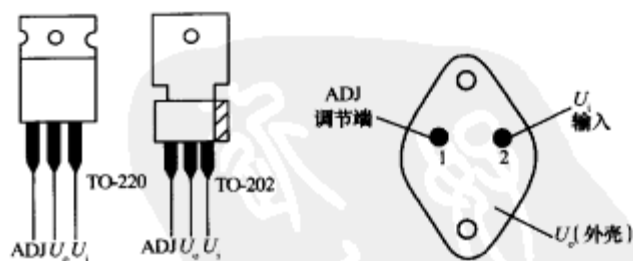


图 14-11 LM138、238、338 管脚排列

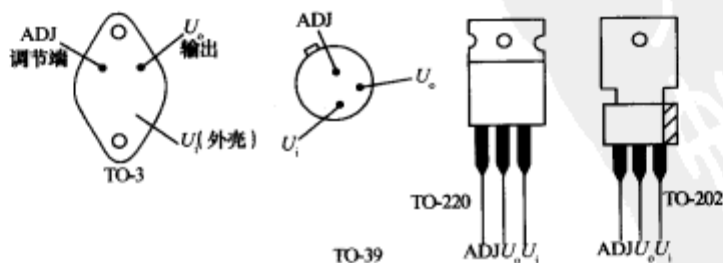


图 14-12 LM137、237、337 管脚排列

二、三端可调稳压器的原理及使用

现以 LM317 可调集成稳压器为例,简要介绍其工作原理、基本使用方法及注意事项。

图 14-13 是 LM317 的内部原理框图。

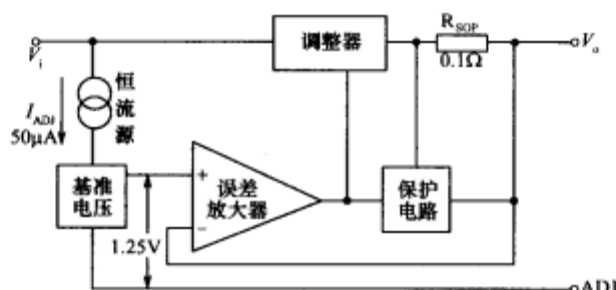


图 14-13 LM317 的内部原理框图

图 14-13 中, V_i 为直流电压输入端, V_o 为稳压输出端, ADJ 则是调整端。与 $78\times\times$ 系列固定三端稳压器相比, LM317 把内部误差放大器、偏置电路的恒流源等的公共端改接到了输出端, 所以, 它没有接地端。LM317 内部的 1.25V 基准电压设在误差放大器的同相输入端与稳压器的调整端之间, 由电流源供给 $50\mu\text{A}$ 的恒定 I_{ADJ} 调整电流, 此电流从调整端 (ADJ) 流出。 R_{SOP} 是芯片内部设置的过流检测电阻。

LM317 的基本应用电路如图 14-14 所示。

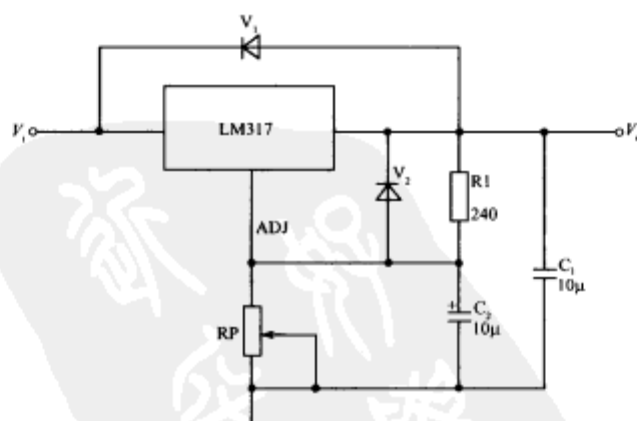


图 14-14 LM317 的基本应用电路

R_1 为取样电阻, RP 是可调电阻, 当 RP 调到零时, 相当于 RP 下端接地, 此时, $V_o = 1.25\text{V}$ 。如果将 RP 下调, 随着其阻值的增大, V_o 也不断升高, 但最大不得超过极限值 37V。若取 $R_1 = 120\Omega$, $RP = 3.4\text{k}\Omega$ 或取 $R_1 = 240\Omega$, $RP = 6.8\text{k}\Omega$, 能获得 $1.25\text{V} \sim 37\text{V}$ 连续可调的电压调整范围。LM317 输出电压的表达式为

$$V_o = 1.25 \left(1 + \frac{RP}{R_1} \right)$$

以上应用电路及 V_o 表达式对其他同类型号的稳压器也同样适用。

此外,图 14-14 中的其他几个元件的作用分别为: C_1 是防自激振荡电容,要求使用 $1\mu\text{F}$ 的钽电容; C_2 是滤波电容,可滤除 RP 两端的纹波电压; V_1 和 V_2 是保护二极管,可防止输入端及输出端对地短路时烧坏稳压器的内部电路。

注意事项:使用三端可调集成稳压器时,应重点注意以下几点。

- (1)防止将引脚接错。无论是测试还是上机安装使用时,均应将各引脚都正确接入电路后方可加电。
- (2)输入电压范围选择要正确。稳压器内部晶体管有一定的耐压值,在工作时要保证整流输出的直流脉动电压峰值不大于稳压器允许的最大输入电压。
- (3)注意外部接线位置的正确选择。取样电阻 R_1 要接在稳压器的输出端和调节端。稳压器的接地端应接在负载的接地端,而负载的正端则要紧靠稳压器的输出端。
- (4)必须外接保护二极管,如图 14-14 中的 V_1 和 V_2 。这两只二极管能有效地防止输入、输出端对地短路时损坏稳压器。
- (5)大功率使用时,要加适当的散热器。

三、三端可调集成稳压器的检测

与检测 78 $\times\times$ 系列集成稳压器的方法一样,检测三端可调集成稳压器的方法主要有两种。

1. 电阻法

用万用表的电阻挡测出稳压器各管脚间的电阻值,并与正常值进行比较,若出入不大,则说明被测稳压器性能良好。若管脚间阻值偏离正常值较大,则说明被测稳压器性能不良或已经损坏。表 14-11 是用 500 型万用表 $R\times 1\text{k}$ 挡实测的三端可调集成稳压器典型产品 LM317、LM350、LM338 各管脚间的电阻值,供测试时比较对照参考。

表 14-11 LM317、350、338 各管脚的电阻值

表笔位置		正常电阻值/ $\text{k}\Omega$		
黑表笔	红表笔	LM317	LM350	LM338
V_i	ADJ	150	75~100	140
V_o	ADJ	28	26~28	29~30
ADJ	V_i	24	7~30	28
ADJ	V_o	500	几十至几百	约 $1\text{M}\Omega$
V_i	V_o	7	7.5	7.2
V_o	V_i	4	3.5~4.5	4

2. 在路电压测试法

测试时,一边调整 RP,一边用万用表直流电压挡测量稳压器直流输入、输出端电压值。当将 RP 从最小值调到最大值时,输出电压 V_o 应在指标参数给定的标称电压调节范围内变化,若输出电压不变或变化范围与标称电压范围偏差较大,则说明稳压器已经损坏或性能不良。

第三节 四端、五端集成稳压器

一、PQ 系列四端稳压器

PQ 系列四端稳压器是 SHARP(夏普)公司生产的一种新型的稳压集成电路,其稳压值与普通三端稳压器相同,后缀的 $\times\times$ 代表稳压值,后缀名与稳压值对应关系见表14-12。

表 14-12 PQ 系列四端稳压器主要参数

型号	稳压值/V	输出电流/A	误差
PQ3RD23	3.3	2	3.0%
PQ05RD21	5	2	3.0%
PQ09RD21	9	2	3.0%
PQ12RD21	12	2	3.0%
PQ05RH1	5	1.5	5%
PQ09RH1	9	1.5	5%
PQ12RH1	12	1.5	5%
PQ05RH11	5	1.5	2.5%
PQ09RH11	9	1.5	2.5%
PQ12RH11	12	1.5	2.5%
PQ3RD13	3.3	1	3.0%
PQ05RD11	5	1	3.0%
PQ09RD11	9	1	3.0%
PQ12RD11	12	1	3.0%

PQ 系列四端稳压器内部电路框图如图 14-15 所示。

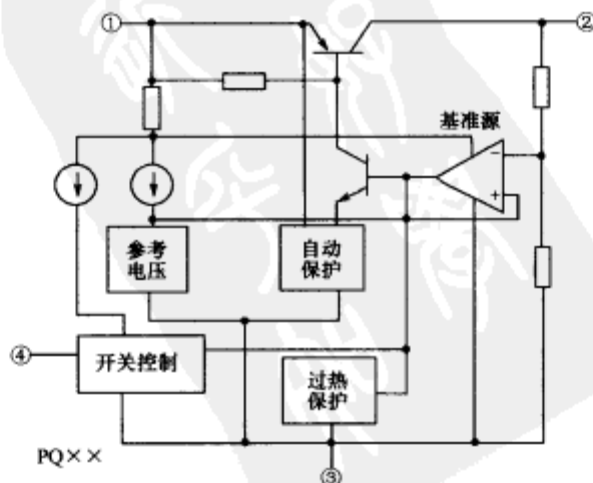


图 14-15 PQ 系列四端稳压器内部电路框图

这种稳压器有 4 个引脚,其中 3 个引脚的功能与普通三端稳压器相似,另外一个引脚(4 脚)是控制端,当该脚接高电平或者悬空时,稳压器正常输出,当该脚为低电平时,稳压器输出关断,输出电压为零。

PQ 系列四端稳压器典型应用电路如图 14-16 所示。

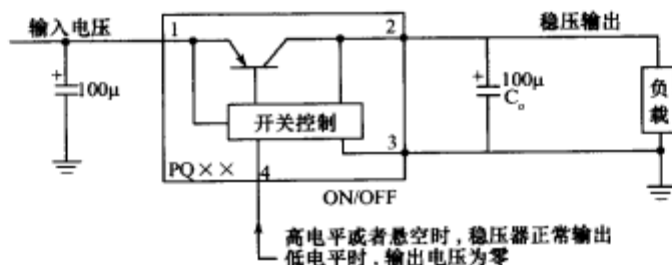


图 14-16 PQ 系列四端稳压器典型应用电路

若该系列稳压器损坏后没有同型号产品替换时,可以采用普通三端稳压器按图 14-17 的电路来代换,效果也很好。

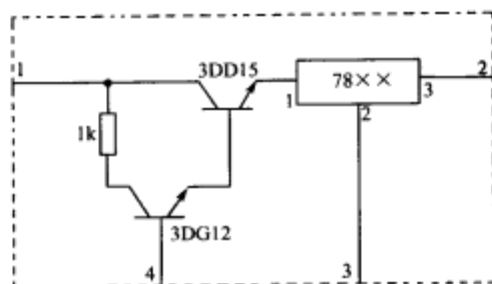


图 14-17 PQ 系列四端稳压器的代换

二、五端可调集成稳压器

1. 五端可调集成稳压器特性

CW200 是一种五端可调正压单片集成稳压器。输出电压范围为 $2.85\text{V} \sim 36\text{V}$,并连续可调,输出最大负载电流 2A 。这种稳压器使用方便,仅用 2 个外接取样电阻,就可以调整到所需要的输出电压值。其特点是稳压器芯片内部设有过流、过热保护和调整管安全工作区保护电路,使用安全可靠。用 CW200 制作的稳压电源,具有较高的参数指标和稳压精度,这种稳压器不但可接成可调式稳压器,也可以接成固定电压输出的稳压器。

CW200 的外形有两种:一种为塑料封装,另一种为金属封装,如图 14-18 所示。

这种稳压器的主要电参数如下:最大输入输出压差为 40V ;最小输入输出压差为 2V ;电压调整率为 0.05% ;电流调整率为 0.15% ;纹波抑制比为 60dB ;静态工作电流为 4.4mA ;最大输出电流为 2A 。

2. 五端可调集成稳压器的应用

五端可调集成稳压器的基本应用电路如图 14-19 所示。

这个电路的输出电压由电阻 R_1 与 R_p 确定,调节 R_p 的阻值,输出电压可以从 $2.85\text{V} \sim 36\text{V}$ 连续变化。当 R_1 、 R_p 确定后,输出电压 V_o 可由公式

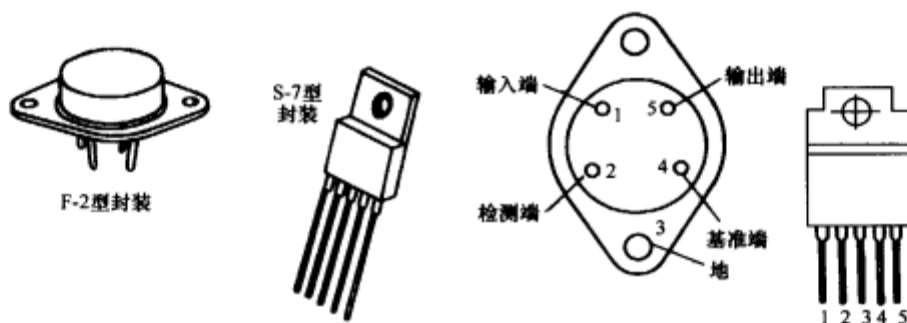


图 14-18 CW200 的外形

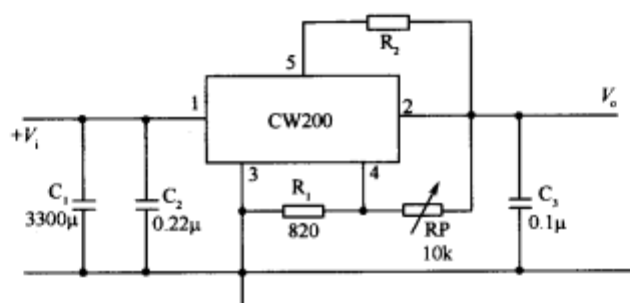


图 14-19 五端可调集成稳压器的基本应用电路

$$V_o = V_{ref} \left(1 + \frac{RP}{R_1} \right)$$

得到。其中, V_{ref} 为电路 4 脚对地的基准电压, 标准值为 2.85V。

电路的最大输出电流 I_o 由电阻 R_2 确定为

$$I_o = \frac{V_{5-2}}{R_2}$$

其中 V_{5-2} 是稳压器 5 脚到 2 脚电流限制感应电压, 标准值为 0.45V。

CW200 之所以能够利用一只电阻来调节电路的最大输出电流, 是由于稳压器内部含有一个比较器, 当 V_{5-2} 达到 0.45V 左右时, 比较器动作, 它推动稳压器内部的一个晶体管, 将调整管的基极电流吸取出的一部分, 这样器件的输出电流受到了限制。 $R_2 = 0$ 时, 将是器件最大输出电流 2A, 图中 C_1 为滤波电容, C_2 、 C_3 称消振电容, 为防止器件自激所设。

3. 五端可调集成稳压器的检测

五端可调集成稳压器的检测方法 with 三端可调稳压器的检测方法相似, 也可采用电阻法和在路电压测试法, 这里不再重述。

三、具有复位功能的五端 5V 集成稳压器

一些家用电器的电源电路, 还较多地采用了具有复位功能的五端 5V 集成稳压器, 下面以 L78MRO5FA 为例说明。

L78MRO5FA 的输出电压为 5V, 输出电流为 500mA, 内有安全工作保护电路和过热保护电路, 且具有复位功能, 延迟时间可由外部电容来设置。L78MRO5FA 内部电路框图如图 14-20 所示。

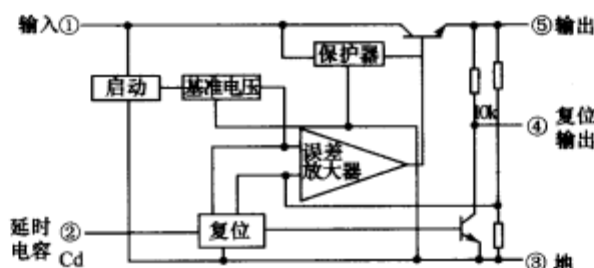


图 14-20 L78MRO5FA 内部电路框图

检测 L78MRO5FA 时,可以采用电阻法测量管脚间的电阻,然后与正常值进行比较。另外,检测时也可采用在路电压法测量输出电压,典型电压值见表 14-13。

表 14-13 L78MRO5FA 典型在路电压

管脚	名称	功 能	在路电压/V
1	IN	电压输入	22
2	Cd	外接延时电容	3.7
3	GND	地	0
4	RESET	复位	4.5
5	OUT	稳压输出	5

四、输出电压可控的五端稳压器

1. BA 系列五端稳压器

BA 系列五端稳压器是 ROHM(罗姆)公司生产的新型多端稳压器,该系列稳压器主要输出电压有 3.3V、5V、9V 等几种规格,BA 后面的数字代表输出电压,具体型号与输出电压对照表见表 14-14。

表 14-14 BA 系列型号与输出电压

型 号	输出电压/V	型号	输出电压/V
BA033ST/SFP	3.3	BA08ST/SFP	8.0
BA05ST/SFP	5.0	BA09ST/SFP	9.0
BA06SFP	6.0	BA10ST	10.0
BA07ST/SFP	7.0	BA12ST	12.0

BA 系列五端稳压器内部电路框图如图 14-21 所示。管脚功能见表 14-15。

表 14-15 BA 系列稳压器管脚功能

管脚号	管脚名	功 能
1	CTL	使能控制端,高电平时输出端输出电压,低电平时输出端停止输出
2	V _{cc}	电源电压输入端
3	GND	接地
4	OUT	稳压输出端
5	C	输出电压调整端(适用于后缀为 AST/ASFP 的型号)
	NC	空(适用于后缀为 ST/SFP 的型号)

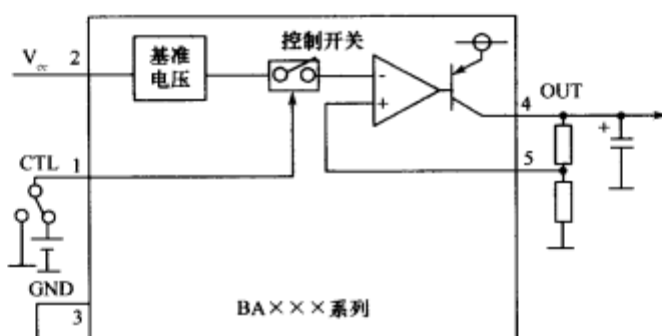


图 14-21 BA 系列稳压器内部电路框图

BA 系列五端稳压器内部有过热保护电路,当温度超过常温 25℃时,输出功率开始随着温度的升高而下降,当温度超过 125℃时,输出电压下降为 0;该电路还有过压保护电路,当输入端电压超过限定值时,输出端输出电压下降为 0。

该系列稳压器 1 脚为控制端,当该脚接高电平时,稳压器输出端 4 脚输出正常的电压;当该脚接低电平时,输出端 4 脚停止输出。

2. L 系列五端稳压器

L 系列五端稳压器典型型号为 L78OSO5FA。该稳压器的 1 脚为电压输入端,2 脚为空,3 脚为地,4 脚为控制端,5 脚为稳压输出端。

当 4 脚电压为低电位时,L78OSO5FA 的 5 脚可输出稳定的 5V 电压;当 4 脚电压为高电位时,L78OSO5FA 关断,无 5V 输出。

第四节 电压变换器和取样集成电路

一、MAX6××系列 AC-DC 电压变换器

1. MAX6××系列产品的特性

MAX6××系列产品是美国麦克希姆公司研制的一种 CMOS 交流一直流电压变换器。该系列产品一共有 6 种型号,它们分别是:MAX600/610/601/611/602/612。其主要性能参数见表 14-16。

表 14-16 MAX6××系列产品主要参数

型 号	整流方式	输出直流电压范围/V	标称直流输出电压/V	最大输出电流/mA	功率/W	工作温度范围/℃
MAX600	全波	1.3~9	5	100	0.5	0~50
MAX601	半波	1.3~9	5	100	0.5	0~50
MAX602	全波	1.3~15	5	100	0.5	0~50
MAX610	全波	1.3~9	5	100	0.5	0~70
MAX611	半波	1.3~9	5	100	0.5	0~70
MAX612	全波	1.3~15	5	100	0.5	0~70

MAX6××系列产品属于无电源变压器的小功率(0.5W)一体化稳压电源,内部包括整流器和线性稳压器。使用时,只须外限流电阻、降压电容和滤波电容,即可直接加上220V 交流电源,从输出端得到稳定的直流电压。

2. MAX6××系列产品的应用

下面以 MAX610 为例,说明其工作原理和典型应用电路。MAX610 管脚排列如图 14-22 所示。

管脚功能如下。

7、1 脚:AC₁、AC₂,交流 220V 电源的进线端。

6 脚:V_o,稳压器的输出端。当 4 脚与 2 脚短接时,输出电压为 5V。

8、2 脚:V₊、V₋,内部整流桥的正、负引出端,二者之间在内部已并有 12.4V 的稳压管。

3 脚:OVV,欠压、过压信号输出端。

4 脚:V_{SET},输出电压调整端;此端接 V₋ 时,V_o=5V;接电阻分压器时,V_o可在 1.3V~9V 的范围内任意设定。

5 脚:V_{SENSE},限流输入端,通常与 V_o 端相连。

MAX610 的内部框图及应用外围电路如图 14-23 所示。

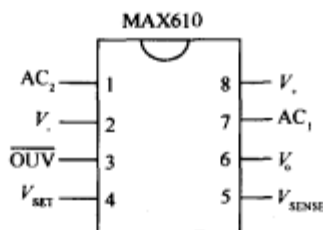


图 14-22 MAX610 管脚排列

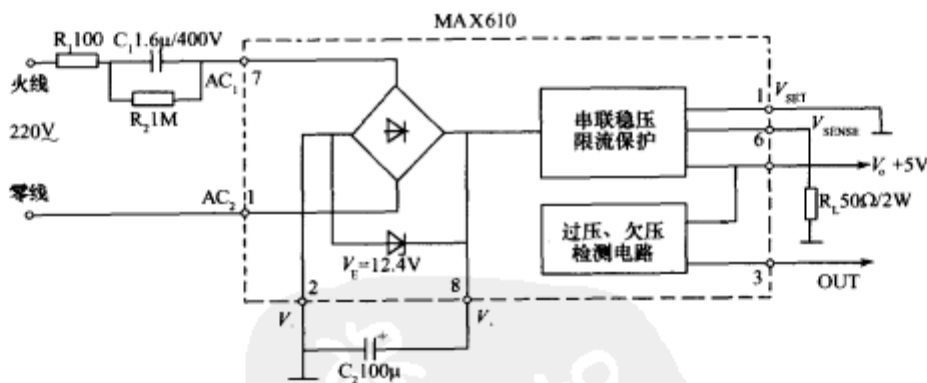


图 14-23 MAX610 的内部框图及应用外围电路

MAX610 内部包括整流桥、串联调整式稳压器、限流保护电路、过压与欠压检测电路。 R_1 是限流电阻; C_1 是交流降压电容,要求耐压 400V 以上; R_2 为泄放电阻,断电后能将 C_1 上的电荷放掉,以保护使用者不受电击。

MAX610 的输出电流 I_{OM} 直接与 C_1 容量的大小有关。设 V_o 为 5V,当 C_1 取 $1.6\mu\text{F}$ 时, $I_{OM}=100\text{mA}$; C_1 取 $1\mu\text{F}$ 时, $I_{OM}=61\text{mA}$;当 $I_{OM}\leq 10\text{mA}$ 时, C_1 可以省掉不用,但必须增大 R_1 ,例如, V_o 为 5V, I_{OM} 为 10mA 时, R_1 可取 $8.2\text{k}\Omega(2\text{W})$ 。

使用 MAX6××系列 AC-DC 电压变换器需要注意的是,不得使 AC 输入端加过电压。其中,加在 MAX600、MAX601、MAX610、MAX611 的 AC₁ 与 AC₂ 之间的电压不得超过 10V(有效值);加在 MAX602、MAX612 的 AC₁ 与 AC₂ 之间的电压不得超过 16V(有效值)。

3. MAX6××系列 AC-DC 电压变换器的检测

下面以 MAX610 为例说明测试方法。先按图 14-23 将电路连接好,然后通电作下述

两项检测：

1)空载测试

将万用表置于直流 50V 电压挡,测量 8 脚(V_+)对地(2 脚)的电压值应接近 12.4V,若测得的电压过高或过低,均说明 MAX610 内部稳压管或整流元件有故障。当然,若外部滤波电容漏电或容量减小,也会导致 8 脚电压值偏离正常值。

再将万用表转换到直流 10V 挡,测量 6 脚对地电压值,应为 5V。若相差较大,说明 MAX610 内部稳压电路有故障。

2)加载测试

在 V_+ 端(6 脚)对地接一只 $50\Omega/1W$ 的负载电阻 R_L ,测 6 脚的电压,应为 5V。若加载后,此脚电压下跌到 4V 以下,则说明被测器件内阻较大,带载能力较差。

二、三端取样集成电路

三端取样集成电路广泛地应用于开关电源的稳压电路中,其外形酷似三极管,但其内部结构和三极管却有着质的区别,下面以 TL431 为例进行说明。

TL431 是一个有良好的热稳定性能的三端可调分流基准源。它的输出电压用取样端外接两个电阻就可以任意地设置到从 $V_{ref}(2.5V)$ 到 36V 范围内的任何值。

TL431 外型结构如图 14-24 所示。3 个引脚分别为:阴极(K)、阳极(A)和取样(R,有时也用 G 表示)。

图 14-25 是 TL431 的内部示意图。



图 14-24 TL431 的外形

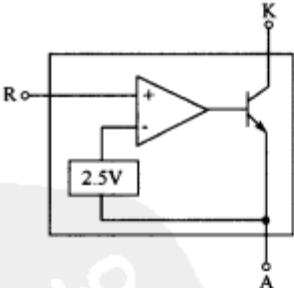


图 14-25 TL431 的内部示意图

从内部电路图中可以看出,R 端接在内部比较放大器的同相输入端,当 R 端电压升高时,比较放大器的输出端电压也上升,即内部三极管基极电压上升,导致其集电极电压下降,即 K 端电压下降。

对 TL431 的检测,主要采用电阻法,表 14-17 是实测的 TL431 数据。

表 14-17 TL431 实测数据

符 号	A	R	K
功能	阳极	取样	阴极
红表笔接 A,黑表笔测量($k\Omega$)	0	无穷大	16
黑表笔接 A,红表笔测量($k\Omega$)	0	3.5	22
说明	黑表笔接 R,红表笔接 K,阻值为无穷大; 黑表笔接 K,红表笔接 R,阻值为 $5k\Omega$		

第十五章 片状元器件的识别

片状元器件(SMC 和 SMD)是无引线或短引线的新型微型元器件,它适合于在没有通孔的印制电路板上安装,是表面组装技术(SMT)的专用元器件。与传统的通孔元器件相比,片装元件安装密度高,减小了引线分布的影响,降低了寄生电容和电感,高频特性好,并增强了搞电磁干扰和射频干扰能力。目前,片状元器件已在计算机、移动通信设备、医疗电子产品等高科技产品和摄像机、彩电高频头、VCD 机等家用电器中得到广泛应用。为此,本章对常用片状元件的性能及识别进行了简要分析,可供维修和使用片状元件时参考。

第一节 常用片状电阻器及其识别

贴片式电阻器是贴片式元器件中应用最广的元件之一。常用的电阻器有矩形片状电阻器、圆柱形电阻器、跨接线电阻器、微调电位器(半可变电阻器)、多圈电位器、取样电阻器(限流电阻或电流检测电阻)及热敏电阻器等。

一、片状电阻器的阻值和允差标注方法

1. 电阻的允差及代码

一般的片状电阻的允差有 4 级:B、D、F、J,其允差分别为 $\pm 1\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 1\%$ 及 $\pm 5\%$ 。其中 B、D、F 级为精密电阻,J 级为普通电阻。

2. 电阻值范围及标称电阻值

不同精度等级、不同尺寸大小的电阻值范围不同(不同工厂也不相同)。一般从 $1\Omega \sim 10\text{M}\Omega$,低阻型从 $10\text{m}\Omega \sim 910\text{m}\Omega$, $\pm 5\%$ 精度各阻值按 E24 标准分挡, $\pm 1\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 1\%$ 精度各阻值按 E48、E96 标准分挡,见表 15-1、表 15-2。

表 15-1 代码含义

代号	A	B	C	D	E	F
含义	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5
代号	G	H	X	Y	Z	
含义	10^6	10^7	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	

例如,02C 为 $102 \times 10^2 = 10.2\text{k}\Omega$,15E 为 $140 \times 10^4 = 1.4\text{M}\Omega$ 。

部分片状电阻采用 IEC(国际电工委员会)代号表示。电阻值一般直接标注在电阻其中一面,黑底白字,通常用三位数表示,前两位数字表示有效值,第三位数字表示有效数字后零的个数,当阻值小于 10Ω 时,以 *R* 表示,将 R 看作小数点。如 R22 表示 0.22Ω ,2R2 表示 2.2Ω ,220 表示 22Ω 等。

表 15-2 代码含义

代码	E48	E96	代码	E48	E96	代码	E48	E96	代码	E48	E96
01	100	100	25	178	178	49	316	316	73	562	562
02		102	26		182	50		324	74		576
03	105	105	27	187	187	51	332	332	75	590	590
04		107	28		191	52		340	76		604
05	110	110	29	196	196	53	348	348	77	619	619
06		113	30		200	54		357	78		634
07	115	115	31	205	205	55	365	365	79	649	649
08		118	32		210	56		374	80		665
09	121	121	33	215		57	383	383	81	681	681
10		124	34		221	58		392	82		698
11	127	127	35	226	226	59	402	402	83	715	715
12		130	36		232	60		412	84		732
13	133	133	37	237	237	61	422	422	85	750	750
14		137	38		243	62		432	86		768
15	140	140	39	249	249	63	442	442	87	787	787
16		143	40		255	64		453	88		806
17	147	147	41	261	261	65	464	464	89	825	825
18		150	42		267	66		475	90		845
19	154	154	43	274	274	67	487	487	91	866	866
20		158	44		280	68		499	92		887
21	162	162	45	287	287	69	511	511	93	909	909
22		165	46		294	70		523	94		931
23	169	169	47	301	301	71	536	536	95	953	953
24		174	48		309	72		549	96		976

二、常见片状电阻器介绍

1. 矩形片状电阻

矩形片状电阻是开发较早和产量较大的表面安装元件之一,其外形如图 15-1 所示。

矩形片状电阻器的型号并未统一,生产厂家各不相同,但型号中的参数(如尺寸、公差、温度系数、包装方式)基本上是一样的。片状电阻的参数有:尺寸代码、额定功率、最大工作电压、额定工作温度、标称电阻值、公差、温度系数及包装形式。

按照日本工业标准(JIS),片状电阻尺寸分成 7 个标准,即 1005(0402)、1608(0603)、2012(0805)、3216(1206)、3225(1210)、5025(2010)和 6432(2512)。尺寸代码由 4 个数组成,有两种表示方法:英制及公制,目前常用的是英制代码。以 0805 为例来说明:08 表示 0.08 英寸(长度尺寸),05 表示 0.05 英寸(宽度尺寸)其对应的公制代码为 2012,即长度为 2.0mm,宽度为 1.2mm。在目前应用中,0603、0805 用得最多,1206 用得渐少,而 0402

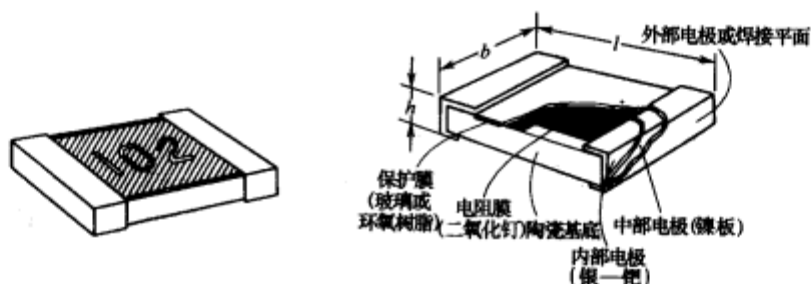


图 15-1 矩形片状电阻的外形

用得渐多,1206 以上的用得极少。

有些生产工厂用英制尺寸代码的后两位数来表示,如 03、05、06 分别表示 0603、0805 及 1206 尺寸代码。

不同尺寸的片状电阻的额定功率与最大工作电压及额定工作温度见表 15-3。

表 15-3 不同尺寸的片状电阻的额定功率与最大工作电压及额定工作温度关系

尺寸代码	额定功率	最大工作电压/V	工作温度范围/℃
0402	1/20W(1/16W)	50	-55~125(额定工作温度为 70℃)
0603	1/16W	50	
0805	1/10W	150	
1206	1/8W	200	
1210	1/4W	200	
2010	1/2W	200	
2512	1W	200	

需要说明的是:电阻的焊盘尺寸不要过大,以避免焊锡过多而造成冷却时收缩应力过大(有时会造成电阻断裂)。

2. 圆柱形固定电阻

这类电阻是通孔电阻去掉引线演变而来,外形如图 15-2 所示。

圆柱形电阻可分为碳膜和金属膜两大类,价格便宜,电阻额定功率有 1/10W、1/8W 和 1/4W 三种对应规格,分别为 $\Phi 1.2\text{mm} \times 2.0\text{mm}$ 、 $\Phi 1.5\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 、 $\Phi 2.2\text{mm} \times 5.9\text{mm}$,体积大的功率也大,其标志采用常见的色环标志法,参数与矩形片状电阻相近。



图 15-2 圆柱形电阻的外形

与矩形片状电阻相比,圆柱形固定电阻的高频特性差,但噪声和三次谐波失真较小,因此,多用在音响设备中,矩形片状电阻一般用于电子调谐器和移动通信等频率较高的产品中,可提高安装密度和可靠性。

3. 片状跨接线电阻器

片状跨接线电阻器也称为零阻值电阻,专门用于作跨接线用(便于用 SMT 设备装配)。它的尺寸及代码与矩形片状电阻器相同。其特点是允许通过的电流大:0603 为 1A,0805 以上为 2A。另外,该电阻的电阻值并不为零,一般在 $30\text{m}\Omega$ 左右,最大值为 $50\text{m}\Omega$,因此,它不能用于地线之间的跨接,以免造成必要的干扰。

4. 片状微调电位器

片状微调电位器也称为片状半可变电阻器,是一种常用的调整元件。在电路中用于

频率、放大器增益的调整或确定分压比或基准电压的调整等。它们的阻值基数是1、2、5。如常用的阻值是10kΩ、20kΩ、50kΩ及100kΩ等(阻值范围一般为100Ω~2MΩ)。片状微调电位器如图15-3所示。

5. 片状取样电阻器

片状取样电阻也称为电流检测电阻或限流电阻。它是一种小阻值大功率电阻,它串接在电路中,如接在功率三极管的发射极与地之间,以测其电阻的压降值间接来检测电流的大小。它常用于电池充电器、电流检测放大器(或电流检测器)、过流保护器等,为了检测到较大电流,并且使电阻上的损耗较小,取样电阻的功率较大(1.5W~2W),电阻值较小(0.005Ω~0.5Ω)。常用的阻值有0.01Ω、0.015Ω、0.02Ω、0.025Ω及0.05Ω。电阻阻值的允差为0.5%~1%。



图15-3 片状微调电位器

6. 片状 NTC 热敏电阻器

片状 NTC 热敏电阻与通孔式热敏电阻一样用于温度补偿、温度测量及控制。例如,在充电器中检测电池的温度以防止电流过大、温度过高而造成爆炸。在运算放大器反馈电路中串入热敏电阻,可补偿传感器受温度影响造成的温度误差。

片状 NTC 热敏电阻与片状电阻一样有尺寸代码、阻值、允差、功率及工作温度范围,但它还有温度特性的 B 常数(或称 B 值,在我国此常数也称为 K 值)。片状 NTC 热敏电阻的标称电阻值是 25℃时的电阻值;常用的尺寸有 0805、2012 及 3216(但尺寸小的热容量小;反应较灵敏),阻值范围有 470Ω~150kΩ。

需要说明的是:手机用的电池组中往往串接热敏电阻以防止过充、过放。这种热敏电阻是正温度特性的 PTC,过充或过放时温度过高,造成 PTC 热敏电阻阻值大增而达到保护目的,不能用 NTC 热敏电阻代替,它会损坏电池的。

第二节 常用片状电容器及其识别

片状电容器也称贴片式电容器,常用的有片状多层陶瓷电容器、高频圆柱状电容器、片状涤纶电容器、片状电解电容器、片状钽电解电容器、片状微调电容器等。

一、片状电容器容量和允差标注方法

片状电容器的容量标注,一般有两位组成,其第一位是英文字母,代表有效数字;第二位是数字,代表10的指数,电容单位为pF,具体含义见表15-4。

表 15-4 电容的标记

字母	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N
有效数字	1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.7	3	3.3
字母	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z		
有效数字	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1		
字母	a	b	c	e	f	m	n	t	y				
有效数字	2.5	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9				

例如,一个电容器标注为 G3,通过查表,查出 $G=1.8, 3=10^3$,那么,这个电容器的标称值为 $1.8 \times 10^3 = 1800\text{pF}$ 。

有些片状电容的容量采用 3 位数,单位为 pF。前两位为有效数字,后一位数为加的零数。若有小数点,则用 P 表示。如 1P5 表示 1.5pF ,100 表示 10pF 等。允差用字母表示,C 为 $\pm 0.25\text{pF}$,D 为 $\pm 0.5\text{pF}$,F 为 $\pm 1\%$,J 为 $\pm 5\%$,K 为 $\pm 10\%$,M 为 $\pm 20\%$,I 为 $-20\% \sim 80\%$ 。

二、常见片状电容器介绍

1. 片状多层陶瓷电容器

片状多层陶瓷电容器又称片状独石电容器,是片状电容器中用量大、发展最为迅速的一种。若采用的介质材料不同,其温度特性、额定工作电压及工作温度范围亦不同。该电容器的结构如图 15-4 所示。

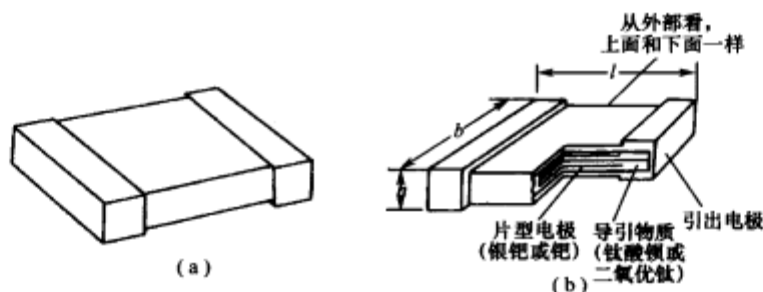


图 15-4 片状多层陶瓷电容器外形

内部由多层陶瓷组成的介质层,两端头由多层金属组成。

电容器的温度特性由介质决定,片状多层陶瓷电容器的介质材料主要有以下几种。

1) C0G(NP0)

C0G(NP0)属 I 类材料。其性能最稳定,基本上不随电压、时间变化,受温度变化影响也极小,是超稳定型、低损耗电容器介质材料。适用于要求较高的高频、特高频及甚高频电路。该类电容器容量较小,一般以 2200pF 以下为主。

2) X7R

X7R 属 II 类材料,其容量随温度、电压、时间改变,但变化不显著,属于稳定性电容器介质材料,材料做成的电容器适用于隔直、耦合、旁路、滤波等电路。其电容量多为 $100\text{pF} \sim 2.2\mu\text{F}$ 。

3) Y5V

Y5V 属 III 类材料。具有很高的介电常数,可生产电容量较大的电容器。它属于低频通用性电容器材料,应用于对电容器容量变化要求不高、损耗要求不高的电路。其电容量为 $1000\text{pF} \sim 10\mu\text{F}$,但目前市场上超过 $2.2\mu\text{F}$ 就难买到。

2. 高频圆柱状电容器

常用的高频圆柱状电容器的电容量、允差及耐压见表 15-5。

表 15-5 高频圆柱状电容器电容量、允差及耐压

容量/pF	允差/%	耐压	容量/pF	允差/%	耐压
1.8 以下	±20	50V	120~1000	±10	50V
2.2~8.2	±10		1500~6800	±30	25V
10~100	±5		8200~10000	±30	16V

3. 片状涤纶电容器

片状涤纶电容器是有机薄膜电容器中的一种,具有较好的稳定性和低失效率的特性,主要用在消费类电子产品中。该电容器常用的电容量为 $1000\text{pF}\sim 0.15\mu\text{F}$,耐压 50V ,工作温度范围 $-40^{\circ}\text{C}\sim +85^{\circ}\text{C}$,电容允差为 $\pm 10\%\sim \pm 20\%$ 。

4. 片状铝电解电容器

片状铝电解电容器有立式及卧式两种,如图 15-5 所示。

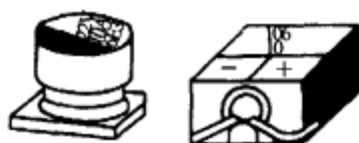


图 15-5 片状铝电解电容器

由于铝电解电容器是以阳极铝箔、阴极铝箔和衬垫材料卷绕而成,所以片状铝电解电容器基本上小型化铝电解电容器加了一个带电极的底座结。卧式结构是将电容器横倒,它的高度尺寸小一些,但占印制电路板面积较大。一般铝电解电容器仅适用于低频,目前一些 DC/DC 变换器的工作频率可达几百千赫到几兆赫,则可选用三洋公司商标为 DS-CON 的有机半导体铝固体电解电容器,它具有较好的频率特性,但价格较贵。

5. 片状钽电解电容器

片状钽电解电容器的尺寸比片状铝电解电容器小,并且性能好。如漏电小、负温性能好、等效串联电阻(ESR)小、高频性能优良,所以应用越来越广,除用于消费类电子产品外,也应用在通信、电子仪器、仪表、汽车电器、办公室自动化设备中等,但价格要比片状铝电解电容器贵。常用的片状钽电解电容器为塑封,其外形如图 15-6 所示。

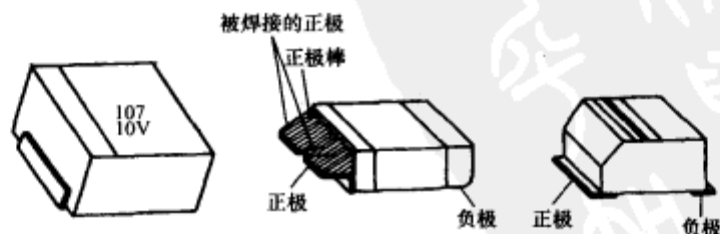


图 15-6 常用的片状钽电解电容器

该电容器的耐压从 4V 到 50V ;电容量从 $0.1\mu\text{F}$ 到 $470\mu\text{F}$,常用的范围为 $1\mu\text{F}\sim 100\mu\text{F}$ 、耐压范围 $10\text{V}\sim 25\text{V}$;工作温度范围 $-40^{\circ}\text{C}\sim \pm 125^{\circ}\text{C}$;其允差为 $\pm 10\%\sim \pm 20\%$ 。

片状钽电解电容器的顶面有一条黑色线。是正极性标志,顶面上还有电容容量代码和耐压值,如图 15-7 所示。

前面介绍的电容器是通用电容器。实际上根据电路的特殊需要,各知名电容器厂家生产了不少特殊的电容器及一些新的电容器产品(性能更好、尺寸更小)。如高频微调电容器等,这里不再一一介绍。

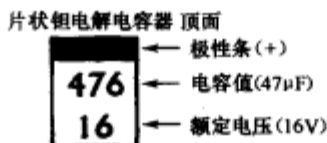


图 15-7 片状钽电解电容器顶面

第二节 常用片状电感器及其识别

片状电感器可分为小功率电感器及大功率电感器两类。小功率电感器主要用于视频及通信方面(如选频电路、振荡电路等);大功率电感器主要用于 DC/DC 变换器(如用作储能元件或 LC 滤波元件)。

一、片状电感电感的标注方法

小功率电感量的代码有 nH 及 μH 两种单位。用 nH 作单位时,用 N 或 R 表示小数点。例如,4N7 表示 4.7nH,4R7 则表示 4.7 μH ;10N 表示 10nH,而 10 μH 则用 100 来表示。

大功率电感上有时印上 680K、220K 字样,分别表示 68 μH 及 22 μH 。

二、常见片状电感器介绍

1. 小功率片状电感器

小功率片状电感器有 3 种结构:绕线片状电感器、多层片状电感器、高频片状电感器。

1) 绕线片状电感器

绕线片状电感器是用漆包线绕在骨架上做成的有一定电感量的元件。根据不同的骨架材料、不同的匝数而有不同的电感量及 Q 值。它有 3 种结构,如图 15-8 所示。



图 15-8 绕线片状电感器的外形

A 类是内部有骨架绕线,外部有磁性材料屏蔽经塑料模压封装的结构;B 类是用长方形骨架绕线而成(骨架有陶瓷骨架或铁氧体骨架),两端头供焊接用;C 型为工字形陶瓷、铝或铁氧体骨架,焊接部分在骨架底部。

A 型结构有磁屏蔽,与其他电感元件之间相互影响小,可高密度安装。B 型尺寸最小,C 型尺寸最大。绕线型片状电感器的的工作频率主要取决于骨架材料。例如,采用空心或铝骨架的电感器是高频电感器,采用铁氧体的骨架则为中、低频电感器。

高频电感器(用于 UHF 段)的电感量较小,一般为 1.5nH~100nH。电感量的允差

一般有J级($\pm 5\%$)、K级($\pm 10\%$)、M级($\pm 20\%$)。工作温度范围 $-25^{\circ}\text{C}\sim +85^{\circ}\text{C}$ 。

2) 多层片状电感器

多层片状电感器是用磁性材料采用多层生产技术制成的无绕线电感器。它采用铁氧体膏浆及导电膏浆交替层叠并采用烧结工艺形成整体单片结构,有封闭的磁回路,所以有磁屏蔽作用。该类电感器的特点有:尺寸可做得极小,最小的尺寸为 $1\text{mm}\times 0.5\text{mm}\times 0.6\text{mm}$;具有高的可靠性;由于有良好的磁屏蔽,无电感器之间的交叉耦合,可实现高密度。该类片状电感器适用于声频/视频设备及电话、通信设备。

3) 高频(微波)片状电感器

高频(微波)片状电感器是在陶瓷基片上采用精密薄膜多层工艺技术制成,具有高的电感精度($\pm 2\%$ 及 $\pm 5\%$),可应用于无线通信设备中。该电感器主要特点是寄生电容小,自振频率高(例如,8.2nH的电感器,其自振频率大于2GHz)。

2. 大功率片状电感器

大功率片状电感器都是绕线型,主要用于DC/DC变换器中,用作储能元件或大电流LC滤波元件(降低噪声电压输出)。它由方形或圆形工字形铁氧体为骨架,采用不同直径的漆包线绕制成,如图15-9所示。



图 15-9 大功率片状电感器

第三节 常用片状二极管及其识别

片状二极管主要有整流二极管、快速恢复二极管、肖特基二极管、开关二极管、稳压二极管、瞬态抑制二极管、发光二极管、变容二极管、天线开关二极管等。它们在小型电子产品及通信设备中得到了广泛的应用。

一、片状二极管的型号、结构及标注

1. 片状二极管的型号及结构

部分片状二极管的型号仍是沿用引线式二极管的型号,如大家熟知的整流二极管1N4001~1N4007,开关管1N4148等。另外,新型片状二极管也有自己的型号。

目前,进口元器件数量较多,大部分是美、日产品,也有部分欧洲生产的元器件(如SGS公司、SIEMENS公司及PHILIPS公司等),使型号较为繁杂。

各国都有半导体分立器件型号命名标准,如美国1N打头的,日本1S打头的,我国2A~2D打头的都是二极管。也有不少是由工厂自己来命名(厂标)的,不同的生产厂有不同的型号,如SM4001~SM4007、GS1A~GS1K、S1A~S1M及M1~M7等。这种不标准的型号出现在电路中时,给分析电路及维修带来很多困难。

片状二极管有多种封装形式,主要可分成三种:二引线型、圆柱型(玻封或塑封)和小型塑封型。二引线型的顶面及圆柱型的圆周上有一横条标志线,它表示二极管的负极端。

常见片状二极管的外形如图15-10所示。

图15-11给出了几种典型片状二极管内部结构图。

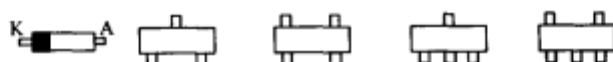


图 15-10 常见片装二极管的外形

代号	1	2	3	4	5	6
内部结构						
代号	7	8	9	10	11	12
内部结构						

图 15-11 几种典型片状二极管内部结构图

2. 型号代码及色标

小尺寸片状二极管一般不打印出型号，而打印出型号代码或色标。这种型号代码由生产工厂自定，并不统一。

例如图 15-12 所示是二引线封装二极管，其顶面 A2 表示型号代码。

图 15-13 所示的 N、N20、P1 分别表示三种小型塑封二极管的型号代码。

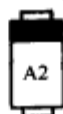


图 15-12 二引线封装二极管型号代码

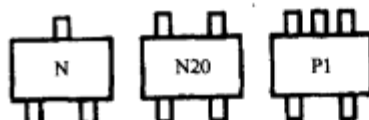


图 15-13 小型塑封二极管的型号代码

圆柱形玻封二极管采用色标方法表示型号或采用印代码方式，分别如图 15-14 所示。



图 15-14 圆柱形玻封二极管型号表示法

图(a)用阴极的标志线，采用不同的颜色来表示型号；图(b)采用两种颜色的色环表示（粗环表示阴极端）；图(c)中第三环表示等级（用于稳压二极管），图(d)的圆周上印有 PH-817 代码，相当于 1N5817。

二、常见片状二极管介绍

1. 片状整流二极管

整流一般指的是将工频(50Hz)的交流变成脉动直流，常用的是 1N4001~1N4007 系列 1A、50V~1000V 整流二极管（圆柱形玻封或塑封）。选择片状整流二极管有两个主要参数：最高反向工作电压（峰值） V_R 和额定正向整流电流（平均值） I_F 。

为减小印制电路板面积并简化生产，开发出片状桥式整流器，常用的有 $V_R=200V$ ，

$I_F=1A$ 的全桥,如图 15-15 所示。

2. 片状快速恢复二极管

在电子产品的高频整流电路、开关电源 DC/DC 变换器、脉冲调制解调电路、变频调速电路、UPS 电源或逆变电路中,由于工作频率高(几十千赫~几百千赫),一般的整流二极管不能使用(它只能用于 3kHz 以下),需要使用片状快速恢复二极管。它的主要特点是反向恢复时间小。一般为几百纳秒,当工作频率更高时,采用超快速恢复二极管,它的反向恢复时间为几十纳秒。

片状快速恢复二极管反向峰值电压可达几百伏到 1000V。常用的正向平均电流可达 0.5A~3A,当工作频率大于 1000MHz 时,则需要采用肖特基二极管。

3. 片状肖特基二极管

片状肖特基二极管最大的特点是反向恢复时间短,一般可做到 10ns 以下(有的可达 4ns 以下),工作频率可在 1GHz~3GHz 范围;正向压降一般在 0.4V 左右(与电流大小有关);但反向峰值电压小,一般小于 100V(有些仅几十伏,甚至有的还小于 10V)。它的额定正向电流范围从 0.1A 到几安。大电流的肖特基二极管是面接触式,主要用于开关电源、DC/DC 变换器中;还有小电流点接触式的用于微波通信中(称为肖特基势垒二极管,反向恢复时间小于 1ns)。它不仅适用于数字或脉冲电路的信号钳位,而且在自控、遥控、仪器仪表中用作译码、选通电路;在通信中用作高速开关、检波、混频;在电视、调频接收机中作频道转换开关二极管或代替锗检波二极管 2AP9,性能良好、稳定可靠,并且价格不高。

如何来区分肖特基二极管、快速恢复二极管及普通硅二极管呢。可用万用表来测正向电阻的方法来区别,其电阻分别为 150Ω、500Ω 及 650Ω 左右。

4. 片状开关二极管

片状开关二极管的特点是反向恢复时间很短,高速开关二极管的反向恢复时间 $\leq 4ns$ (如 1N4148),而超高速开关二极管则 $\leq 1.6ns$ (如 1SS300)。另外,它的反向峰值电压不高,一般仅几十伏;正向平均电流也较小,一般仅 100mA~200mA。

该二极管主要用于开关、脉冲、高频电路和逻辑控制电路中。由于片状 1N4148 高速开关二极管尺寸小、价格便宜,也可用作高频整流或小电流低频整流及并联于继电器作保护电路。

5. 片状稳压二极管

片状稳压二极管主要参数有两个:稳定电压值及功率。常用的稳定电压值为 3V~30V,功率为 0.3W~1W。低电压(如 2V~3V)的稳压特性很差,一般也没有 2V 以下的稳压二极管。

6. 片状瞬态抑制二极管(TVS)

片状瞬态抑制二极管用作电路过压(瞬时高压脉冲)保护器,目前主要用于通信设备、仪器、办公用设备及家电等。它的工作原理和稳压二极管相同,有高压干扰脉冲进入电路时,与被保护的电路并联的片状瞬态抑制二极管反向击穿而钳位于电路不损坏的电压上。与普通稳压二极管不同之处是它有很大面积的 PN 结,可以耗散大能量的瞬态脉冲,瞬时



图 15-15 片状桥式整流器

高达几十或上百安培电流,响应时间快(可达 $1 \times 10^{-12} \text{s}$)。它有单向及双向结构。

双向瞬态抑制二极管的几种典型的保护电路如图 15-16 所示。

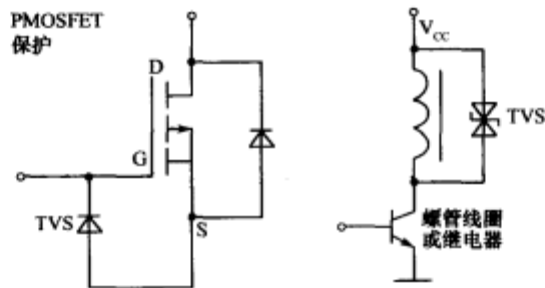


图 15-16 双向瞬态抑制二极管的几种典型的保护电路

7. 片状发光二极管(LED)

片状发光二极管有红、绿、黄、橙、蓝色(蓝色的管压降为 $3\text{V} \sim 4\text{V}$)，它的结构有带反光镜的、带透镜的,有单个的及两个 LED 封装在一起的(一红、一绿为多数),有普通亮度的、高亮度及超高亮度的,还有将限流电阻做在 LED 中的,外部无须再接限流电阻(可节省空间)。常见片状发光二极管如图 15-17 所示。

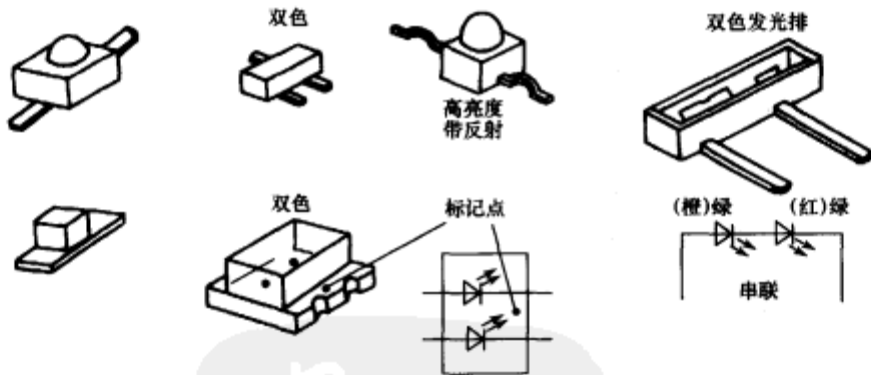


图 15-17 常见片状发光二极管外形

另外一些片状共阴极数码管如图 15-18 所示。

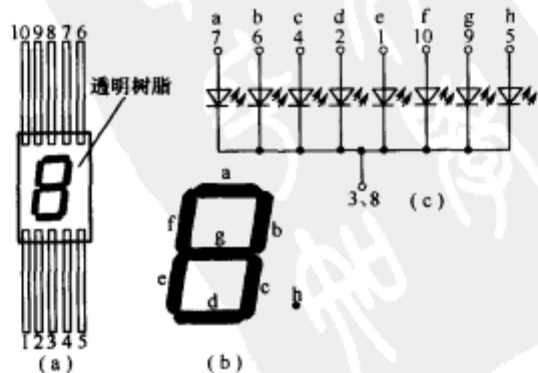


图 15-18 片状共阴极数码管

8. 片状变容二极管

片状变容二极管是一个电压控制元件,通常用于振荡电路,与其他元件一起构成 VCO(压控振荡器)。在 VCO 电路中,主要利用它的结电容随反偏压变化而变化的特性,通过改变变容二极管两端的电压便可改变变容二极管电容的大小,从而改变振荡频率。片状变容二极管在手机电路中得到了广泛的应用。

第四节 常用片状三极管、场效应管及其识别

片状三极管及片状场效应管是由传统引线式三极管及场效应管发展过来的,管芯相同,仅封装不同,并且大部分沿用引线式的原型号。为增加安装密度,进一步减小印制电路板尺寸,开发出了一些新型三极管、场效应管、带阻三极管、组合三极管等,近年来,通信系统的频率越来越高,又开发出不少通信专用三极管,如砷化镓微波三极管及功放管等。

一、片状三极管的型号识别

我国三极管型号是“3A~3E”开头、美国是“2N”开头、日本是“2S”开头。目前市场上 2S 开头的型号占多数,欧洲对三极管的命名方法是用 A 或 B 开头(A 表示锗管,B 表示硅管),第二部分用 C、D 或 F、L(C——低频小功率管,F——高频小功率管、D——低频大功率管,L——高频大功率管);用 S 和 U 分别表示小功率开关管和大功率开关管;第三部分用三位数表示登记序号。如:BC87 表示硅低频小功率三极管。还有一些三极管型号是由生产工厂自己命名的(厂标),是不标准的。例如,摩托罗拉公司生产的三极管是以 M 开头的。如在一个封装内带有两个偏置电阻的 NPN 三极管,其型号为 MUN2211T1。相应的 PNP 二极管为 MUN2111T1(型号中 T1 也是该公司的后缀)。

二、片状三极管及场效应管介绍

1. 普通三极管

普通三极管有三个电极的,也有四个电极的,外形及管脚排列如图 15-19 所示。

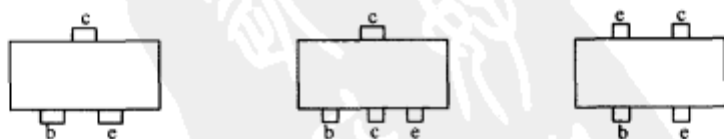


图 15-19 普通三极管、场效应管的外形及管脚排列图

2. 复合三极管

这类片状三极管为近年开发的新型片状三极管,它是在一个封装中有两个三极管,其外形如图 15-20 所示。

不同的复合三极管,其内部三极管的连接方式不一样,如图 15-21 所示。

由于连接方式不够统一,因此,在维修和代换时要特别注意!

3. 片状带阻三极管

片状带阻三极管是在三极管芯片上做上一个或两个偏置电阻,这类三极管以日本生产为多。各厂的型号各异,常见带阻三极管外形及内部电路如图 15-22 所示。这类三极

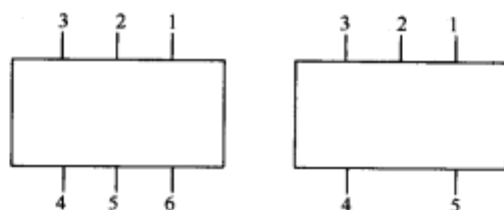


图 15-20 复合三极管外形

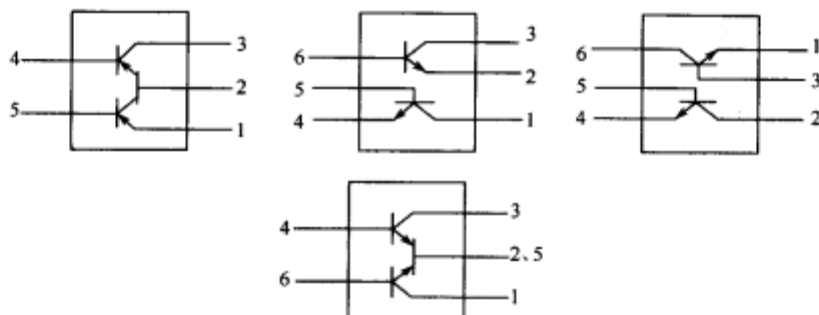


图 15-21 复合三极管内部连接方式

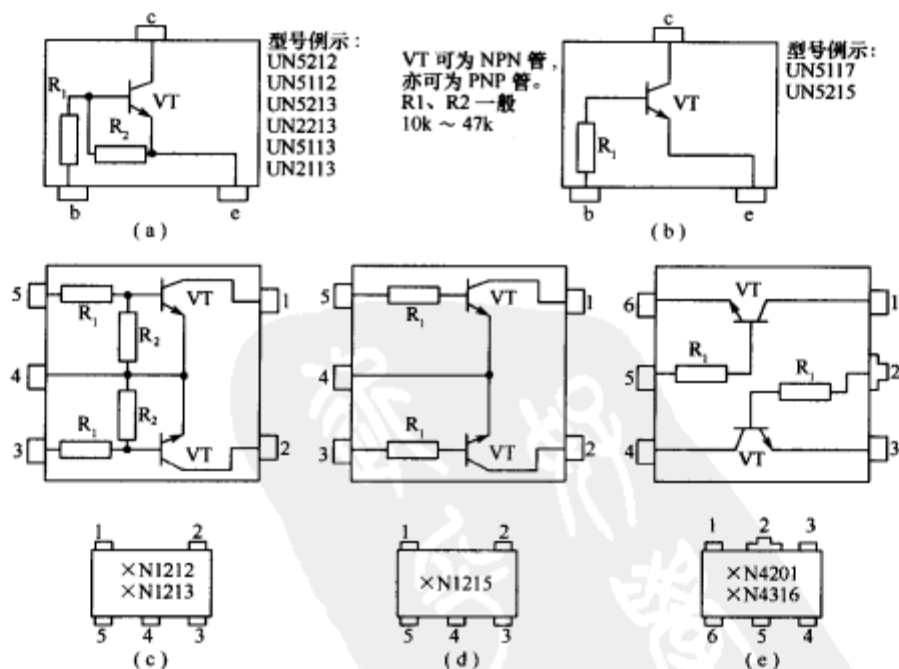


图 15-22 常见带阻三极管的外形及内部电路

管在通信装置中应用最为普遍，可以节省空间。

4. 片状场效应管

与片状三极管相比，片状场效应管具有输入阻抗高、噪声低、动态范围大、交叉调制失真小等特点。片状场效应管分结型场效应管(JFET)和绝缘栅场效应管(MOSFET)。JFET 主要用于小信号场合，MOSFET 既有用于小信号场合，也有用作功率放大或驱动

的场合。片状场效应管外形及管脚排列如图 15-23 所示(两种不同排列)。

可见,场效应管的外形结构与三极管十分相似,应注意区分,场效应管 G、S、D 极分别相当于三极管的 b、e、c 极。

1) 片状 JFET

片状 JFET 在 VHF/UHF 射频放大器中应用的有 MMBFJ309LT1(N 沟道,型号代码为 6U),用在通用的小信号放大器中的有 MMBF54S7LT1(N 沟道,型号代码为 M6E)等。它们常用作阻抗变换或前置放大器等。

2) 片状 MOSFET

片状 MOSFET 的最大特点是具有优良的开关特性,其导通电阻很低,一般为零点几欧到几欧,小的仅为几毫欧到几十毫欧。所以自身管耗较小,小尺寸的片状器件却有较大的功率输出。目前应用较广的是功率 MOSFET,常用作驱动器、DC/DC 变换器、伺服/步进电机控制、功率负载开关、固态继电器、充电器控制等。

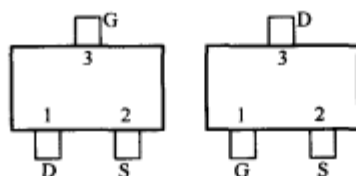


图 15-23 片状场效应管的外形及管脚排列

第五节 常用片状稳压 IC 及其识别

随着半导体工艺技术的不断改进,特别是便携式电子产品的迅猛发展,促使贴片式电源 IC 有了长足的进步,贴片式电源 IC 绝不仅仅是封装形式的改变,而是不断地降低自身的损耗以提高效率,以达到最大限度节能的目的。片状稳压 IC 种类较多,下面仅介绍应用在手机电路的的两种片状稳压 IC。

一、五脚稳压模块

五脚稳压模块管脚排列如图 15-24 所示。

其中第 1 脚为电源输入,第 2 脚为接地,第 3 脚为控制端,第 4 脚悬空,第 5 脚为稳压输出。

二、六脚稳压模块

六脚稳压模块管脚排列如图 15-25 所示。

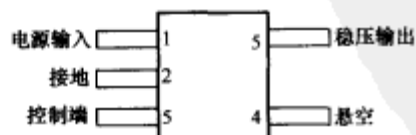


图 15-24 五脚稳压模块管脚排列图

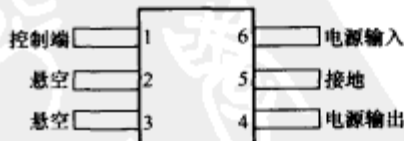


图 15-25 六脚稳压模块管脚排列图

其中第 6 脚为电源输入,第 5 脚接地,第 4 脚为电源输出,1 脚为控制端,当第 1 脚为高电平时,第 4 脚有稳压输出,该类稳压管最大的特点是表面有输出电压标称值,例如,标记为 P48,其稳压输出则为 4.8V,又如,标称为 18P,则其稳压输出为 1.8V。

附录 国内外晶体管型号命名法

一、中国晶体管型号命名法

中国晶体管按中国国家标准 GB249—74 规定的中国半导体器件型号命名法命名。具体命名方法如下。

1. 半导体器件型号的组成

半导体器件型号的组成共分五部分：

第一部分用阿拉伯数字表示器件的电极数目；

第二部分用汉语拼音字母表示器件的材料和极性；

第三部分用汉语拼音字母表示器件的类型；

第四部分用阿拉伯数字表示序号；

第五部分用汉语拼音字母表示规格号。

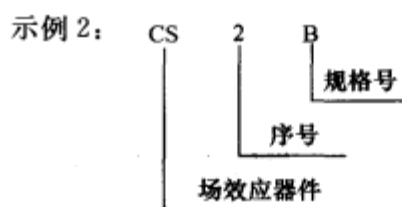
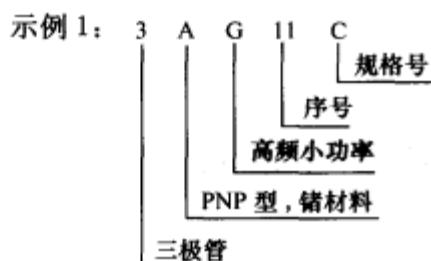
注：场效应器件、半导体特殊器件、复合管、PIN 型管、激光器件的型号命名只有第三、四、五部分。

2. 型号组成部分的符号及其意义

中国晶体管型号组成部分的符号及其意义见附表 1。

附表 1 中国晶体管型号组成部分的符号及其意义

第一部分		第二部分		第三部分				第四部分	第五部分
用数字表示器件的电极数目		用汉语拼音字母表示器件的材料与极性		用汉语拼音字母表示器件的类型				用数字表示器件序号	用汉语拼音字母表示规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义		
2	二极管	A	N 型, 锗材料	P	普通管	T	半导体晶闸管		
		B	P 型, 锗材料	V	微波管	Y	(可控硅)		
		C	N 型, 硅材料	W	稳压管	B	体效应管		
		D	P 型, 硅材料	C	参量管	J	雪崩管		
3	三极管			Z	整流管	CS	阶跃恢复管		
				L	整流管	BT	场效应管		
				S	隧道管	FH	特殊器件		
				N	阻尼管		复合管		
		A	PNP, 锗材料	U	光电管	PI	PIN 型管		
		B	NPN, 锗材料	K	开关管	N	激光器件		
		C	PNP, 硅材料	X	低频小功率管	JG			
		D	NPN, 硅材料	G	($f_s < 3\text{MHz}$; $P_c < 1\text{W}$)				
		E	化合物		高频小功率管				
				D	($f_s > 3\text{MHz}$; $P_c < 1\text{W}$)				
				A	低频大功率管				
					($f_s < 3\text{MHz}$; $P_c > 1\text{W}$)				
					高频大功率管				
					($f_s > 3\text{MHz}$; $P_c > 1\text{W}$)				



二、日本晶体管型号命名法

日本晶体管型号均按日本工业标准 JIS—C—7012 规定和日本半导体分立器件型号命名方法命名。

日本半导体分立器件的型号由 5 个基本部分组成, 这 5 个基本部分的符号及其意义如附表 2 所列。

附表 2 日本晶体管型号组成部分的符号及其意义

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分		第五部分	
用数字表示器件有效电极数目或类型		日本电子工业协会 (JEIA) 注册标志		用字母表示器件使用材料极性和类型		器件在日本电子工业协会 (JEIA) 登记号		同一型号的改进型产品标志	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
0	光电二极管或三极管及其组合管	S	已在日本电子工业协会 (JEIA) 注册的半导体器件	A	PNP 高频晶体管	多位数字	该器件在日本电子工业协会 (JEIA) 的登记号, 性能相同而厂家不同所生产的器件可使用同一个登记号	A	表示这一器件是原型号的改进产品
1	二极管			B	NPN 低频晶体管			B	
2	三极管或具有 3 个电极的其他器件			C	PNP 高频晶体管			C	
3	具有 4 个有效电极的器件。			D	NPN 低频晶体管			D	
n-1	具有 n 个有效电极的器件			F	P 控制极可控硅			E	
				G	N 控制极可控硅			F	等
				H	N 基极单结晶体管				
				J	P 沟道场效应管				
				K	N 沟道场效应管				
				M	双向可控硅				

日本半导体分立器件和型号, 除上述 5 个基本部分外, 有时还附加有后缀字母及符号, 以便进一步说明该器件的特点。这些字母、符号和它们所代表的意义, 往往是各公司自己规定的。后缀的第一个字母, 一般是说明器件特定用途的。常见的有以下几种。

M: 表示该器件符合日本防卫厅海上自卫参谋部的有关标准。

N: 表示该器件符合日本广播协会 (NHK) 的有关标准。

H: 是日立公司专门为通信工业制造的半导体器件。

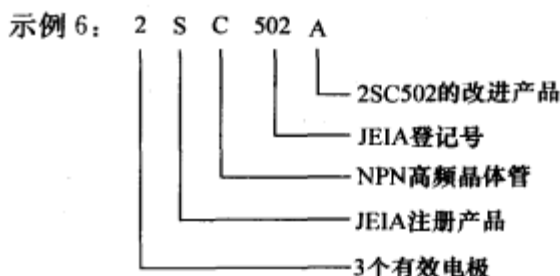
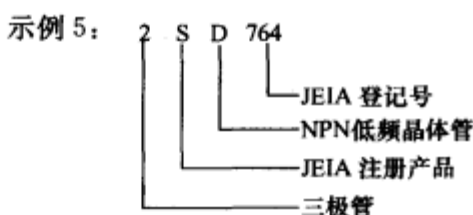
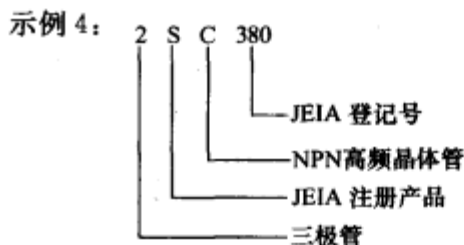
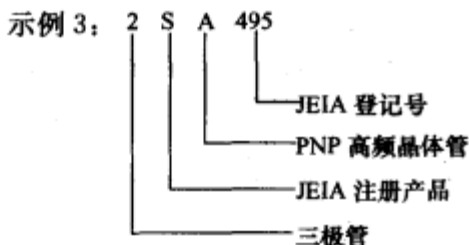
K: 是日立公司专门为通信工业制造的半导体器件, 并且采用塑封外壳。

Z: 是松下公司专门为通信设备制造的高可靠性器件。

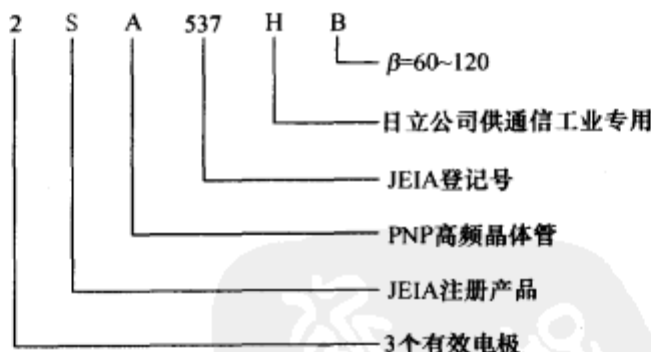
G: 是东芝公司为通信设备制造的器件。

S:是三洋公司为通信设备制造的器件。

后缀的第二个字母常用来作为器件的某个参数的分挡标志。例如,日立公司生产的一些半导体器件,是用 A、B、C、D 等标志说明该器件的 β 值分挡情况。



示例 7:



几点说明如下:

(1) 根据命名方法可以归纳出日本半导体分立器件型号的特征,即型号中的第二部分均为字母“S”。凡是以“1S”开头的半导体器件,都是日本生产的半导体二极管;凡是以“2S”开头的半导体器件,大都是日本生产的半导体三极管,或是具有 3 个有效电极(屏蔽用接地极不算有效电极)的场效应管、单结晶体管、晶闸管等半导体器件。

(2) 根据型号第三部分字母可以判断出是 PNP 型还是 NPN 型,但不能确定是何种材料(硅或锗),也不能确定其功率大小。这一点与我国命名方法不同。

(3) 型号中第四部分的数字只是该器件在日本电子工业协会(JEIA)注册登记的顺序号,并不反映器件性能上的任何特征。顺序号相邻的两个器件,在特性上可能相差很远,例如,2SC1103 和 2SC1104,前者 $P_{cm}=200\text{mW}$,而后者 $P_{cm}=20\text{W}$ 。一般情况下,顺序号可以反映形成产品的时间上的先后,登记号数越大,越是近期的产品。

(4) 有些半导体器件外壳上所标的型号往往采取简化方法,一般把型号前两部分省

去。例如,2SD764 简化为 D764,2SC502A 简化为 C502A。

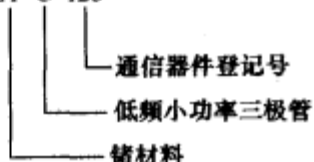
三、国际电子联合会晶体管型号命名法

前西德、法国、意大利、荷兰等参加欧洲共同市场的国家和一些东欧国家如匈牙利、罗马尼亚、波兰等国,大都使用国际电子联合会标准半导体分立器件型号命名方法对晶体管型号命名。这种命名法由 4 个基本部分组成。这 4 个基本部分的符号及其意义见附表 3。

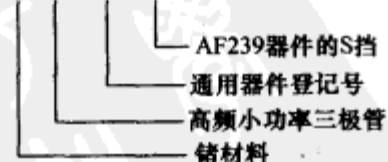
附表 3 国际电子联合会晶体管组成部分的符号及其意义

第一部分		第二部分				第三部分		第四部分			
用字母表示使用的材料		用字母表示器件的类型及主要特征				用数字或字母表示登记号		用字母表示同一器件进行分挡			
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义		
A	锗材料	A	检波、开关和混频二极管	M	封闭磁路中霍尔元件	三位数字	代表通用半导体器件的登记号	A B C D E 等	表示同一型号和半导体器件按某一参数进行分挡的标志		
		B	变容二极管	P	光敏器件管						
B	硅材料	C	低频小功率三极管	Q	发光二极管					一个字母两位数字	代表专用半导体器件的登记号(同一类型器件使用一个登记号)
		D	低频大功率三极管	R	小功率晶闸管						
C	砷化镓	E	隧道二极管	S	小功率开关管						
		F	高频小功率三极管	T	大功率晶闸管						
D	铋化铜	G	复合器件及其他器件	U	大功率开关管						
		H	磁敏二极管	X	倍增二极管						
R	复合材料	K	开放磁路中的霍尔元件	Y	整流二极管						
		L	高频大功率三极管	Z	稳压二极管						

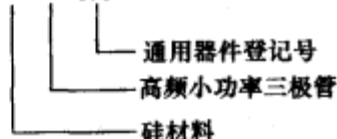
示例 8: A C 128



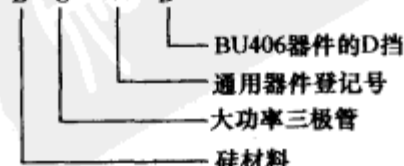
示例 9: A F 239 S



示例 10: B F 178



示例 11: B U 406 D



几点说明如下:

(1)由上述命名法可知,凡是型号以两个字母开头的半导体分立器件,特别是型号开头的第一个字母是 A、B、C、D 或 R 的半导体分立器件,大都是欧洲的产品,或是按欧洲厂家专利生产的产品。

(2)凡是使用现行国际电子联合会晶体管型号命名法的产品,由型号中第一个字母可以立即确定器件所使用的材料。例如型号第一个字母为 A 的是锗管,为 B 的是硅管。但是无法判别是 PNP 型还是 NPN 型管,这点与我国半导体器件型号命名法不同,应特别注意。

(3)型号中的第二个字母表示器件类别和主要特点,只要记住各个字母的意义,不查手册也可判断出类别。例如 BU206 型管,一看便知是硅大功率开关管。

(4)型号中的第三部分为登记序号,只表明是通用器件或专用器件,没有别的含义。序号相邻的两个器件特性可能差别很大,例如 AC187K 与 AC188K 序号相邻,但前者为 NPN 型管,而后者为 PNP 型管。

(5)型号中的第四部分是使用字母对同一型号的器件按某一特性进行分挡。例如三极管可以根据其 β 值或噪声系数等进行分挡。

四、美国晶体管型号命名法

美国许多电子公司分别研制与生产了各种各样的半导体分立器件,并将其生产专利输往各国。这些半导体器件的型号原来都是由厂家自己命名的,所以十分混乱。为了解决美国半导体分立器件型号统一的问题,美国电子工业协会(EIA)的电子元件联合技术委员会(JEDEC)制定了一个标准半导体分立器件型号命名法,推荐给半导体器件生产厂家使用。由于种种原因,虽有大量半导体器件按此命名法命名,但未能完全统一各厂家产品的型号,所以美国半导体器件型号有以下两点不足之处:

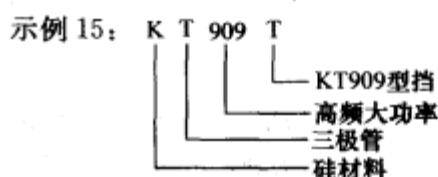
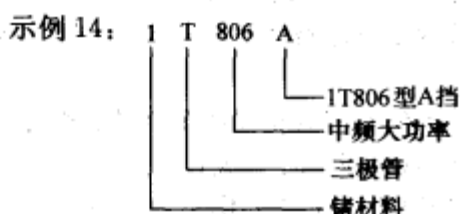
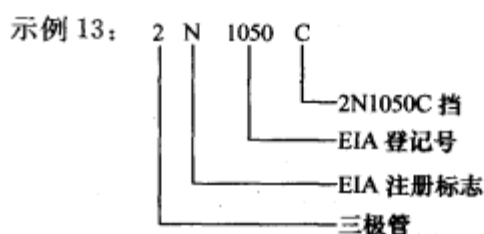
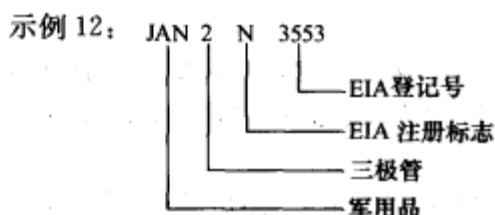
一是有不少美国半导体分立器件型号仍是按各厂家自己的型号命名法命名,而未按此标准命名,故仍较混乱。

二是由于这一型号命名法制定较早,又未作过改进,所以型号内容很不完备。

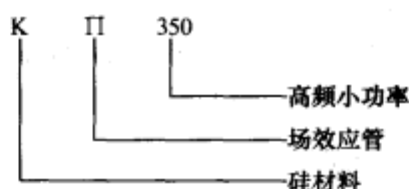
美国电子工业协会(EIA)的半导体分立器件型号命名方法规定,半导体分立器件型号由五部分组成,第一部分为前缀,第五部分为后缀,中间三部分为型号的基本部分。这五部分的符号及意义见附表 4。

附表 4 美国晶体管型号组成部分的符号及其意义

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分		第五部分	
用符号表示 器件类别		用字母表示 PN 结数目		美国电子工 业协会(EIA)注册标志		美国电子工 业协会(EIA)登记号		用字母表 示器件分挡	
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义
JAN 或 J	军用品	1	二极管	N	该器件已在美 国电子工业协 会(EIA)注册 登记	多 位 数 字	该器件在美国 电子工业协会 (EIA)的登记 号	A	同一型号器件 的不同挡别
		2	三极管					B	
无	非军用品	3	3 个 PN 结器件					C	
		n	n 个 PN 结器件					D	



示例 16:



几点说明如下:

(1) 除去前缀之外,凡是型号以 1N、2N、3N……开头的半导体分立器件,大都是美国制造的产品,或属美国专利由其他国家制造的产品。

(2) 由美国半导体器件型号的内容只能判断出器件是二极管、三极管或多个 PN 结的器件,而无法判断出其类型。例如,整流二极管、稳压二极管、检波二极管、开关二极管等各种二极管的型号都是以 1N 开头。而以 2N 开头的三极管,既可能是普通晶体管,也可能是场效应管;既可能是大功率管,也可能是小功率管等。

(3) 型号中第四部分的数字,只是标出该器件在美国电子工业协会的登记号,而没有其他含义。特别应当注意的是登记号相邻的两种器件,其特性可能相差非常大。例如 2N3451 为硅 PNP 型小功率三极管,而与其登记号相邻的 2N3452 则是场效应管。

(4) 不同厂家的性能基本一致的半导体器件都使用同一个登记号,所以型号相同的器件可以通用。有时为了区分同一型号中某些参数的差异,往往使用不同的后缀字母。

参考文献

- [1] 无线电编辑部. 无线电元器件精汇. 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- [2] 杜虎林. 用万用表检测电子元器件. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2001.
- [3] 金正浩, 高静, 希林. 怎样检测家用电器电子元器件. 北京: 人民邮电出版社, 2001.



●丛书介绍●

从零开始学电子技术丛书

书 名	版次	印次	定价册/元	出版时间	书 号
从零开始学单片机技术(附光盘)	1	1	39.00	2006.08	7-118-04599-3/TP·1058
从零开始学单片机 C 语言(附光盘)	1	1	34.00	2006.08	7-118-04643-4/TP·1066
从零开始学电子测量技术(附光盘)	1	1	25.00	2006.08	7-118-04651-5/TN·717
从零开始学电路仿真 Multisim 与电路设计 Protel 技术(附光盘)	1	1	29.00	2006.08	7-118-04576-4/TN·728
从零开始学电气控制与 PLC 技术(无光盘)	1	1	28.00	2006.08	7-118-04621-3/TN·738
从零开始学 CPLD 和 Verilog HDL 编程技术(附光盘)	1	1	30.00	2006.08	7-118-04609-4/TN·734
从零开始学电路基础(附光盘)	1	1	32.00	2007.01	7-118-04786-4/TN·763
从零开始学电子元器件识别与检测技术(无光盘)	1	1	32.00	2007.01	7-118-04765-1/TN·761
从零开始学电动机控制与维修技术(无光盘)	1	1	25.00	2007.01	7-118-04812-7/TM·96
从零开始学模拟电子技术(附光盘)	1	1		即将出版	7-118-04811-9/TN·768
从零开始学数字电子技术(附光盘)	1	1		即将出版	7-118-04651-5/TN·746

